

О ФИЗИКЕ И ФИЗИКАХ

КНИГА ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЧТЕНИЯ

к учебнику
«ФИЗИКА»
9 класс



О ФИЗИКЕ И ФИЗИКАХ

КНИГА ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЧТЕНИЯ

9 класс

Омск
Амфора
2020

УДК 372.016:53
ББК 22.3я721
О912

О912 О физике и физиках: книга для дополнительного чтения к учебнику «Физика». 9 класс / сост. С.М. Андрюшечкин. – Омск : Амфора, 2020. – 80 с.

Пособие «О физике и физиках: книга для дополнительного чтения» является одним из элементов дидактического комплекса проблемного обучения «Физика –7-9» (автор: Андрюшечкин С.М.)

ISBN 978-5-6044553-6-4

УДК 372.016:53
ББК 22.3я721

© Андрюшечкин С.М., составление, 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

В подзаголовке пособия указано – «книга для дополнительного чтения». И это не случайно. Статьи, собранные в книге, дополняют содержание учебника «Физика» для 9 класса (автор С. М. Андрюшечкин). В них более подробно рассказывается о физических явлениях и величинах, рассматриваемых в учебнике, об открытии физических законов и применении их на практике, об учёных, совершивших эти открытия. Рассказывается в книге и о том, что осталось за страницами учебника.

Статьи книги следует читать по мере того, как соответствующая тема будет изучена в школе, но, наверное, любознательный читатель может и «забегать вперед». Единственное, о чём следует помнить, что это чтение должно быть вдумчивым, «с карандашом в руках».

Книга составлена по материалам научно-популярной литературы, перечень использованной составителем литературы указан после каждой статьи. В тексты были внесены изменения и сокращения, делающие их более доступными читателям – ученикам девятого класса.

ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Оглянемся вокруг и ответим на вопрос: «С каким видом механического движения – поступательным или вращательным – мы встречаемся чаще в природе и технике?». Напомним, что поступательным называют такое механическое движение, при котором все точки тела движутся с одинаковыми скоростями, совершая за единицу времени одинаковые перемещения. Подъём воздушного шара, движение поршня в цилиндре двигателя внутреннего сгорания, торможение самолёта, совершившего посадку в аэропорту, – примеры поступательного движения. Вращательным движением называют движение, при котором все точки тела движутся по окружностям различного радиуса, центры которых лежат на одной прямой – на оси вращения (рис. 1, а, б).

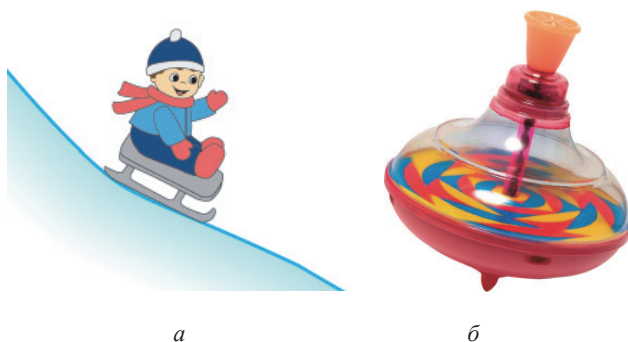


Рис. 1. Примеры поступательного и вращательного движения:
а – поступательное движение санок по горке;
б – вращательное движение юлы.

Если вспомнить, что наша планета Земля вращается вокруг своей оси, что она совершает вращательное движение вокруг Солнца, если посмотреть на вращающиеся колёса автомобилей, на вращающиеся детали станков, машин и механизмов, то, наверное, мы согласимся, что по распространённости вращательное движение, по крайней мере «не проигрывает» движению поступательному.

Однако на школьных уроках физики изучению вращательного движения уделяется существенно меньше времени и внимания, чем поступательному. Попробуем исправить это упущение, опираясь на известные нам закономерности именно поступательного движения и действуя *по аналогии*. Напомним, что аналогия – это, во-первых, сходство в каком-либо отношении между пред-

метами, явлениями или понятиями и, во-вторых, форма умозаключения, когда на основании сходства двух предметов, явлений в каком-либо отношении делается вывод об их сходстве в других отношениях¹. Как писал великий английский физик Джеймс Клерк Максвелл, «под физической аналогией я разумею то частное сходство между законами двух каких-нибудь областей науки, благодаря которому одна является иллюстрацией для другой».

Итак, пусть тело A движется поступательно вдоль координатной оси X (рис 2), а тело B вращается по окружности радиуса R (рис. 3).

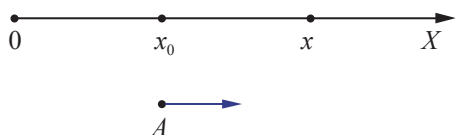


Рис. 2

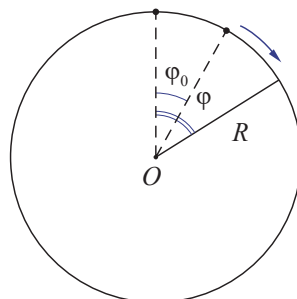


Рис. 3

При поступательном движении тело A за некоторое время t переместится вдоль координатной оси из начальной точки с координатой x_0 в точку с координатой x (рис. 2). При вращательном движении тело B за некоторое время t переместится по окружности из начальной точки, для которой радиус R составляет с вертикалью угол φ_0 , в точку, для которой радиус R составляет с вертикалью угол φ (рис. 3). Угол φ называют углом поворота тела. Аналогия очевидна: угол φ при вращательном движении аналогичен координате x поступательно движущегося тела.

В случае равномерного поступательного движения быстрота этого движения может быть охарактеризована проекцией скорости на координатную ось v_x , которая вычисляется по формуле

$$v_x = \frac{x - x_0}{t}. \quad (1.1)$$

Аналогично быстрота вращения может быть охарактеризована *угловой скоростью* ω (читается: омега), которая показывает, как быстро с течением времени t изменяется угол поворота тела φ . Думается, вы уже догадались, как вычисляется угловая скорость ω в случае равномерного вращения:

$$\omega = \frac{\varphi - \varphi_0}{t}. \quad (1.2)$$

Единица измерения проекции скорости v_x поступательного движения нам известна, это м/с. Единица измерения угловой скорости ω – рад/с (читается: радиан в секунду). Радиан (сокращённо: рад) – единица измерения плоских углов, которая применяется в Международной системе единиц (СИ).

Чему равен 1 радиан? Обратимся к рисунку 4.

¹ Словарь иностранных слов. – 7-е изд., перераб. – М. : Русский язык, 1980. – 624 с. – С. 36.

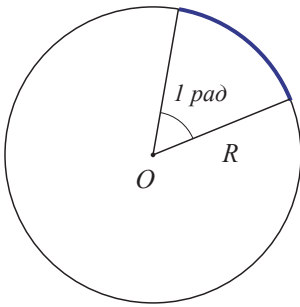


Рис. 4

Радян – угол, соответствующий дуге, длина которой равна радиусу.

Выясним, скольким радианам соответствует полный угол. Вспомним, что длина окружности равна $2\pi R$.

Значит, полный угол составляет 2π рад.

С другой стороны, полный угол равен 360° , следовательно

$$2\pi \text{ рад} = 360^\circ,$$

$$1 \text{ рад} = \frac{360^\circ}{6,28},$$

$$1 \text{ рад} \approx 57^\circ.$$

Используя формулы (1.1) и (1.2), можно легко установить зависимость координаты x от времени при поступательном равномерном движении и зависимость угла поворота φ от времени в случае равномерного вращения:

$$x = x_0 + v_x t$$

и

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t.$$

Продолжим аналогию и распространим её на случай равноускоренного поступательного движения и равнопеременного вращательного движения. Как известно, быстроту изменения проекции скорости v_x при равноускоренном движении характеризует проекция ускорения a_x , которую вычисляют по формуле

$$a_x = \frac{v_x - v_{x0}}{t}.$$

Аналогично быстроту изменения угловой скорости ω охарактеризуем угловым ускорением ε (читается: эpsilon), которое вычисляют по формуле

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t}.$$

Единицей измерения углового ускорения ε является рад/с².

Приведённые примеры показывают, как применение аналогии помогает изучить малоизвестное нам вращательное движение, опираясь на закономерности поступательного движения.



1. Используя известную вам зависимость координаты тела от времени для случая равноускоренного движения по аналогии установите зависимость угла поворота от времени для случая равнопеременного вращательного движения.

Литература

1. Кабардин, О. Ф. и др. Факультативный курс физики. 8 кл. Пособие для учащихся / О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов, А. В. Пономарёва. – М. : Просвещение, 1973. – 206 с. – С. 110–119.

2. Кикоин, А. К. Вращательное движение тел / А. К. Кикоин // Квант. – 1971. – № 1. – С. 1–12.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Великий труд Ньютона «Математические начала натуральной философии» был впервые опубликован в 1686 году. Работа была написана им, естественно, на латыни – международном языке науки, использовавшемся вплоть до XIX века. С латыни на английский язык работа Ньютона была переведена в 1727 году, на французский – в 1727 году, на немецкий – в 1871 году. На русский язык «Математические начала» были переведены позднее – в 1914–1916 годах, однако это единственный случай, когда переводчиком является выдающийся учёный – академик Алексей Николаевич Крылов.



Алексей Николаевич Крылов (1863–1945) –
русский и советский математик, механик, кораблестроитель;
академик Петербургской АН / РАН / АН СССР; профессор Морской академии

Алексей Николаевич Крылов не относился к числу «кабинетных учёных», он был генералом флота, награждён восемью орденами Российской империи и, в дальнейшем, тремя высшими орденами Советского Союза, в 1943 году ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

Андрей Петрович Капица, сын выдающегося физика Петра Леонидовича Капицы и внук академика Крылова, в своих воспоминаниях писал: «Помню, я задал однажды вопрос деду:

– Почему тебя как генерала в революцию не расстреляли?

И его ответ:

– Генерал генералу – рознь.

Действительно, загадкой остаётся тот факт, что никого из нашей семьи и семьи Крыловых не подвергли репрессиям ни до войны, ни после. А ведь два сына Алексея Николаевича были офицерами и участвовали в гражданской

войне на стороне белого движения и погибли в 1918 году. Этого было вполне достаточно для самых суровых мер. Отец мой, Пётр Леонидович Капица, разругался со всемогущим Берией и писал резкие письма Сталину. Но, кроме того, что его сняли в 1946 году со всех работ, ничего не произошло... Словно какой-то зонтик безопасности был раскрыт над нашей семьёй и её окружением».

Можно предположить, что таким «зонтиком безопасности» помимо широкой общеевропейской (как минимум) известности было и понимание того, что технические знания учёного представляют особую ценность, в том числе и для обороноспособности страны. Недаром Алексей Николаевич Крылов, будучи генералом для особых поручений при морском министре Российской империи, говорил, что его советы сэкономили правительству больше стоимости самого современного броненосца, и именно его, несмотря на «старорежимный генеральский статус», советское правительство направило в составе комиссии в 1921 году за границу для восстановления научных связей и закупки оборудования.

Время работы академика Крылова над переводом труда Ньютона – время драматических событий, ведь 1914 год – начало Первой мировой войны. Как писал позднее в своих воспоминаниях А.Н. Крылов, «в 1914 году приёма в Морскую академию не было и лекций не читалось, я был свободен и решил употребить свободное время на перевод и издание “Начал” Ньютона на русском языке, снабдив этот перевод комментарием». Перевод был делом непростым и трудоёмким: «Сперва я переводил текст почти буквально и к каждому выводу тотчас писал комментарий; затем, после того как заканчивался отдел, я выправлял перевод так, чтобы смысл сохранял точное соответствие латинскому подлиннику, и вместе с тем мною соблюдались чистота и правильность русского языка; после этого я переписывал всё начисто, вставлял в своё место комментарий и подготавливал к набору».

Приведём формулировку I закона Ньютона в переводе академика Крылова:

Всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

Когда приступают к изучению законов Ньютона, у многих возникает определённое недоумение. Как известно, II закон Ньютона позволяет рассчитать ускорение \vec{a} тела массой m , на которое действует сила \vec{F} :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Если силы, действующие на тело, скомпенсированы:

$$\vec{F} = 0,$$

то ускорение тела равно нулю:

$$\vec{a} = 0.$$

Это означает, что тело движется прямолинейно и равномерно:

$$\vec{v} = \text{const}.$$

Не следует ли из этого, что I закон Ньютона является простым следствием II закона? Имеет ли I закон Ньютона самостоятельное значение, и если да, то в чём оно заключается? Как может быть экспериментально доказан этот физический закон?

Причина возможного недоразумения, наверное, заключается в том, что не обращают внимания на совершенно разные «зоны ответственности» I и II законов Ньютона.

Второй закон Ньютона описывает характер движения тела, которое *взаимодействует* с другими телами, и устанавливает, что такое тело будет двигаться ускоренно. При этом не исключён случай, когда действия других тел компенсируют друг друга (равнодействующая сила равна нулю), и в этом случае ускорение тела будет равно нулю.

Первый же закон Ньютона описывает характер движения *свободного* тела, то есть тела, на которое не действуют другие тела. И такое тело «удерживается в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения» или, как говорят, движется по инерции. Таким образом, идея I закона Ньютона – идея о существовании инертности тела (сохранения телом неизменным состояния своего движения или покоя).

Остался открытым вопрос об экспериментальном обосновании закона. Приведём по этому поводу цитату из книги, одним из авторов которой является выдающийся советский физик-теоретик XX века, лауреат Нобелевской премии Лев Давидович Ландау (1908–1968): «Каким же образом проверить справедливость этого замечательного закона? Ведь невозможно создать такие условия, при которых на движущееся тело не действовали бы никакие силы. Это верно, но зато можно проследить обратное. В любом случае, когда тело изменяет скорость или направление движения, всегда можно найти причину – силу, которой это изменение обязано. Тело приобретает скорость, падая на Землю; причина – сила притяжения Земли. Камень крутится на верёвке, описывая окружность; причина, отклоняющая камень от прямолинейного пути, – натяжение верёвки. Оборвётся верёвка – и камень улетит прочь в том направлении, в котором он двигался в момент обрыва верёвки».

Литература

1. Крылов, А. Н. Мои воспоминания / А. Н. Крылов; [Вступ. ст. А. П. Капицы]. – [9-е изд., перераб. и доп.]. – СПб. : Политехника, 2003. – 508 с.
2. Ландау, Л. Д. Физика для всех: Движение. Теплота / Л. Д. Ландау, А. И. Китайгородский. – 3-е изд., стер. – М. : Наука, 1974. – 391 с. – С. 33–34.

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Для нас, обитателей планеты Земля, самый непосредственный интерес представляет изучение Солнечной системы, в которой находится наша планета.

Солнечная система включает в себя центральную звезду – Солнце – и космические тела, вращающиеся вокруг Солнца под действием силы всемирного тяготения (рис. 5).



Рис. 5

Перечислим наиболее важные (помимо самого Солнца) объекты Солнечной системы:

Восемь планет (планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля, Марс и планеты-гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Массы и размеры планет в сравнении с массой Земли, расстояние от Солнца до планет в астрономических единицах¹, продолжительность «года» – время оборота вокруг Солнца указаны в таблице 1.

¹ Астрономическая единица (русское обозначение: а. е.) – единица измерения расстояний в астрономии, равна среднему расстоянию от Земли до Солнца. 1 а. е. \approx 150 000 000 км.

Таблица 1. Основные характеристики планет Солнечной системы

Планета	Масса, в массах Земли	Радиус, в радиусах Земли	Среднее расстояние от Солнца, а. е.	Период обращения, год
Меркурий	0,055	0,38	0,4	0,24
Венера	0,815	0,95	0,7	0,62
Земля	1,000	1,00	1,0	1,00
Марс	0,107	0,53	1,5	1,88
Юпитер	318	11,2	5,2	11,87
Сатурн	95,2	9,4	9,6	29,67
Уран	14,5	4,0	19,2	84,05
Нептун	17,2	3,9	30,0	164,49

Планеты имеют спутники – один спутник у Земли, два спутника у Марса и десятки спутников у планет-гигантов. Помимо спутников каждая из планет-гигантов окружена кольцами – плоскими областями пыли и льда, вращающимися вокруг планеты на некотором удалении в плоскости экватора планеты.

- Пять карликовых планет. Наиболее известная из них – карликовая планета Плутон, которая находится от Солнца на расстоянии около 40 а.е. и до 2016 года имела статус «большой» планеты.

- Огромное количество (уже известно более 700 000) малых космических тел. Большинство малых космических тел сосредоточено в двух областях. Во-первых, это пояс астероидов, расположенный между орбитами Марса и Юпитера. Астероиды имеют размеры от нескольких метров до сотен километров и по химическому составу близки к планетам земной группы. Во-вторых, пояс Койпера – область Солнечной системы от орбиты планеты Нептун (30 а.е.) до расстояния около 55 а.е. В поясе Койпера в виде малых космических тел находится «строительный материал», оставшийся после формирования Солнечной системы которое происходило около 5 млрд лет тому назад. В отличие от объектов пояса астероидов, тела пояса Койпера состоят главным образом из летучих веществ (метан, аммиак и вода) в замёрзшем состоянии.

- Кометы – небольшие космические тела, которые обращаются вокруг Солнца по очень вытянутым орбитам. Комета представляет собой глыбу вещества размером несколько километров, состоящего из смёрзшегося льда, частиц камня и металлов. При приближении к Солнцу вещество кометы частично испаряется, образуя вокруг ядра кометы шаровую область – кому – размером в десятки тысяч километров. Потoki солнечных лучей выбивают частицы газа из комы и отбрасывают их назад, вытягивая в длинный туманный хвост, который движется за кометой в пространстве, достигая порой длины в десятки миллионов километров. Кома и хвост кометы отражают солнечный свет и потому могут быть видны, как правило, при наблюдении в телескоп, но порой и невооружённым глазом. Потерянные кометой частицы вещества могут со временем попасть в атмосферу Земли, и при их быстром движении они сгорают в верхних слоях атмосферы, порождая яркую вспышку, которую называют «падающей звездой» (метеором).

К настоящему времени астрономами для сотен комет измерены периоды их вращения вокруг Солнца, рассчитаны траектории их движения. Всего же обнаружено более шести тысяч комет, и их число увеличивается на десятки ежегодно и ясно, что ещё не обнаруженных комет во много раз больше, чем известных.

Астрономы считают, что кометы «проживают» в двух областях Солнечной системы – в поясе Койпера и в области, удалённой от Солнца на расстояние 50 000 а. е., где находятся остатки того вещества, из которого миллиарды лет назад формировались более крупные тела Солнечной системы.

На современном этапе исследования Солнечной системы уже имеются технические возможности изучения не только планет и их спутников, не только комет во время их движения во внутренних областях Солнечной системы, но и самых далёких её окраин. Для этого используются не только мощные телескопы наземного и орбитального базирования, но и автоматические космические зонды.

В последнее десятилетие одно из наиболее интересных исследований было проведено космическим зондом «Новые горизонты», созданным НАСА (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства, США). Космический аппарат имеет размеры $2,2 \times 2,7 \times 3,2$ и массу около 500 кг. Он оснащён жидкостным ракетным двигателем и резервуаром для топлива на 77 кг. На станции установлены семь научных приборов для фиксации и изучения электромагнитного излучения различных диапазонов, а также для изучения космической пыли (рис. 6).

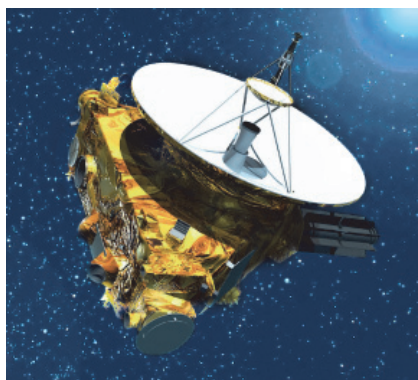


Рис. 6. Автоматическая межпланетная станция «Новые горизонты»

Станция стартовала в январе 2006 года. Для запуска использовалась наиболее мощная американская ракета-носитель с установленными на её первой ступени четырьмя российскими двигателями РД-180. Это позволило «Новым горизонтам» покинуть окрестности Земли с самой большой из всех космических аппаратов скоростью – более 16 км/с (относительно Земли).

В конце февраля 2007 года аппарат совершил гравитационный манёвр в окрестностях Юпитера, были получены фотографии планеты и её спутников. В июне 2008 года аппарат пересёк орбиту Сатурна, в марте 2011 года – орбиту Урана, в августе

2014 года – орбиту Нептуна. 10 марта 2015 года была проведена очередная, седьмая по счёту, коррекция траектории (путём включения двигателя зонда); в это время зонд находился от Солнца на расстоянии около 4,77 млрд км, а расстояние до Плутона составляло 1 а. е.

14 июля 2015 года зонд «Новые горизонты» пролетел на расстоянии 12,5 тысяч километров от поверхности карликовой планеты (рис. 7, а–в). За девять дней наблюдений собрано 50 гигабит информации, которая передавалась с борта зонда на Землю более года – до конца октября 2016 года.

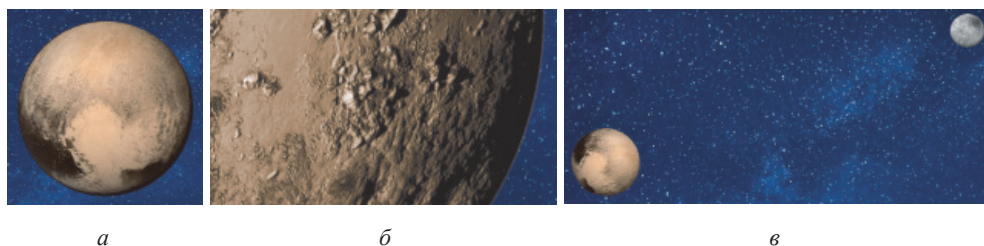


Рис. 7

a – Плутон. Фотоснимок, сделанный зондом «Новые горизонты» при приближении к Плутону;
б – Поверхность Плутона: видны горы и равнина;
в – Плутон и его спутник Харон (составное фото)

В конце августа 2015 года группа управления НАСА выбрала очередную цель «Новых горизонтов»: было принято решение направить зонд в сторону одного из объектов в поясе Койпера, открытого с помощью космического телескопа «Хаббл» в 2014 году (то есть, уже после запуска зонда). После ряда коррекций траектории движения, зонд пролетел мимо объекта MU69 Ульtima Туле на расстоянии 2200 км. За те сутки, что зонд находился вблизи этого космического тела, были исследованы его характеристики, получены фотографии (рис. 8). Ульtima Туле – самый далёкий объект, до которого «дотянулся» человек, он находится на расстоянии 43,4 а. е. от Солнца и 1 млрд км от орбиты Плутона.

Следующая цель «Новых горизонтов» пока ещё не определена. Решение будет принято после анализа всей информации, полученной при исследовании Ульtima Туле, а её передача займет около 20 месяцев. Ядерная батарея, обеспечивающая энергией приборы и передатчики зонда, должна прослужить ещё около 20 лет, так что учёные полны надежд на успешное продолжение полёта «Новых горизонтов».

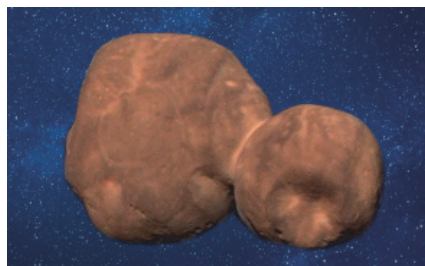


Рис. 8. Астероид Ульtima Туле имеет размер около 30 км (типичный размер объектов пояса Койпера) и состоит из двух шарообразных фрагментов.

Литература

1. Новичонок, А. Д. «Новые горизонты»: в ожидании второго открытия системы Плутона / А. Д. Новичонок // Наука и жизнь. – 2015. – № 7. – С. 58–62.

ЧТО ТАКОЕ ТРИБОЛОГИЯ

Положим деревянный брусок на поверхность стола, прикрепим к бруску пружину и, немного растянув пружину, попробуем привести брусок в движение (рис. 9). Как вы знаете, первоначально брусок останется в состоянии покоя, так как сила упругости, действующая на брусок со стороны деформированной пружины, будет уравновешена силой трения покоя, возникшей при взаимодействии нижней грани бруска и поверхности стола. При увеличении растяжения пружины сила упругости возрастёт и сможет «преодолеть» силу трения покоя – брусок начнет двигаться по поверхности стола, и силу трения покоя «сменит» сила трения скольжения.

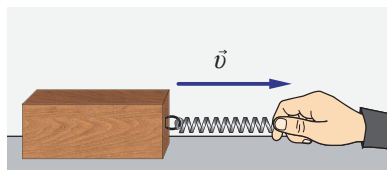


Рис. 9

За счёт трения поверхности взаимодействующих тел изнашиваются (достаточно посмотреть на подошву старых кроссовок, чтобы убедиться в этом); существенно на величину трения влияет смазка (вспомните, как мы проявляем осторожность при движении по мокрому полу).

Раздел физики, изучающий процессы трения, изнашивания и смазки, называют трибологией. Термин «трибология» происходит от греческого корня $\tau\rho\acute{\iota}\beta$ – глагола $\tau\rho\acute{\iota}\beta\omega$ (трибо), буквально «тереть, натирать» и вошёл в научный обиход во второй половине XX века. Трибология – наука о процессах трения, изнашивания и смазки машин – объединяет многие фундаментальные и технические дисциплины и к настоящему времени сформировалась как самостоятельная область научно-технических знаний. Во всех технологически развитых странах имеются специальные научные центры, где работают учёные-трибологи, ведётся подготовка инженеров-трибологов.

Разработка новых устройств и машин в автомобильной, авиационной, космической и других отраслях техники потребовало разработки новых материалов и технологий, применение которых обеспечивает работоспособность, надёжность и долговечность узлов трения в самых экстремальных условиях эксплуатации – большие нагрузки, крайне высокие или очень низкие температуры, вакуум.

Один из таких материалов – это пластмасса политетрафторэтилен (фторпласт-4). Молекула политетрафторэтилена представляет собой цепочку из многих тысяч атомов углерода C; к каждому атому углерода присоединено по два атома фтора F (рис. 10).

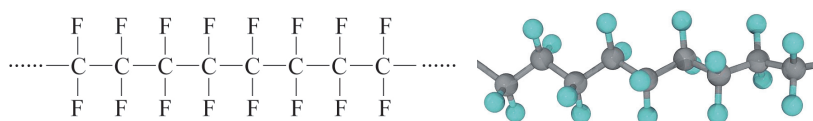


Рис. 10. Модель молекулы политетрафторэтилена

Политетрафторэтилен – белое вещество, по виду напоминающее парафин или полиэтилен, плотностью от 2,18 до 2,21 г/см³. Имеет высокую тепло- и морозостойкость, остаётся гибким при температурах от –70 до +270 °С. Не смачивается ни водой, ни жирами, ни большинством растворителей, обладает отличными изоляционными свойствами.

Благодаря полезным физическим и химическим свойствам материал находит широкое применение и в технике, и в быту.

В быту этот материал известен под своим коммерческим названием тефлон и используется в производстве посуды с противопригарным покрытием.

В технике особенно широкое применение политетрафторэтилен находит при изготовлении подшипников, работающих без смазки, с ограниченным количеством смазочного материала и при наличии химически агрессивной среды. Это обусловлено тем, что политетрафторэтилен имеет очень маленький коэффициент трения скольжения (так коэффициент трения скольжения политетрафторэтилена по стали в несколько раз меньше коэффициента трения скольжения стали по стали).

Для изучения таких антифрикционных материалов (от англ. *friction* – трение) используют различные физические методы. Например, политетрафторэтилен обладает недостаточно высокими механическими свойствами и низкой износостойкостью. Имея исключительно высокие антифрикционные свойства, политетрафторэтилен интенсивно изнашивается при высоких нагрузках и скоростях скольжения. Для устранения этого недостатка в политетрафторэтилен вводят различные наполнители, к примеру, частицы графита размером в десятые доли микрометра. При этом механические и триботехнические свойства модифицированного материала существенно зависят от концентрации наполнителя. В качестве примера на рисунке 11 приведён график зависимости массовой скорости изнашивания W образцов модифицированного политетрафторэтилена от концентрации наполнителя C . (Массовая скорость изнашивания – это величина, показывающая, на сколько изменяется масса образца из политетрафторэтилена за час его скольжения по поверхности какого-нибудь тела.) В ходе эксперимента образец прижимали к стальному диску, создавая контактное давление 2 МПа, и непрерывно вращали образец с частотой более 2000 об/мин.

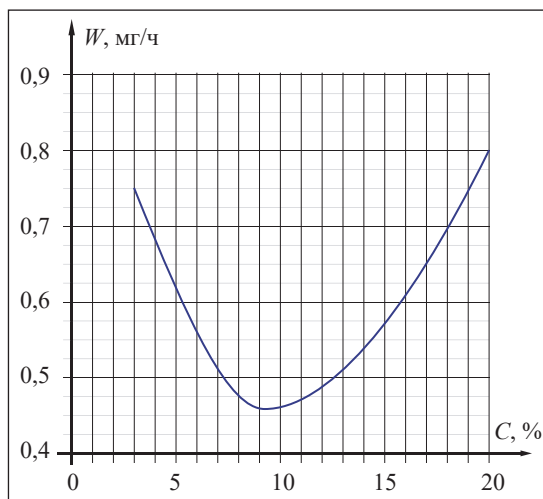


Рис. 11

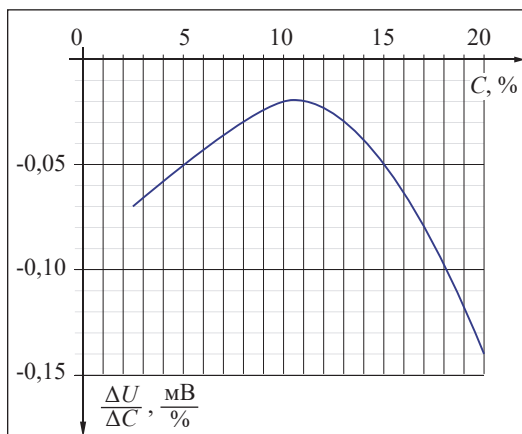


Рис. 12

сунке 12 показан график зависимости скорости убывания напряжения $\frac{\Delta U}{\Delta C}$ от концентрации наполнителя C (при том же контактном давлении 2 МПа).

Обратите внимание, что минимальная по модулю скорость убывания напряжения на исследуемом образце возникает при концентрации, которая соответствует минимуму скорости изнашивания (наибольшей износостойкости). Это натолкнуло исследователей на следующую идею: «Откажемся от длительных экспериментов по поиску оптимальной концентрации наполнителя политетрафторэтилена, при которой материал будет иметь наибольшую износостойкость при том или ином контактном давлении. Вместо этого проведём измерения напряжения, возникающего на образце за счёт трения. Выясним, при какой концентрации наполнителя скорость убывания напряжения будет наименьшей (по модулю) и уже образцы именно с такой концентрацией (или близкой к ней) и будем исследовать на износостойкость».

Изучение закономерностей процессов трения, изнашивания и смазки позволяет правильно рассчитать работу узла трения, подобрав соответствующие материалы и разработав оптимальную конструкцию узла. Это повышает надёжность и долговечность машин и механизмов, снижает потребление энергии, затраты на техническое обслуживание и в результате даёт высокий экономический эффект.



Экономический показатель, отражающий стоимость всех товаров и услуг, произведённых за год во всех отраслях экономики на территории России, называют валовым внутренним продуктом России (сокращенно ВВП РФ). По мнению ученых, использование трибологических достижений даёт экономический эффект порядка 1,5 % ВВП. Чему равен экономический эффект в миллиардах рублей?

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СИММЕТРИЯ И ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Напомним себе определение механического движения: «Механическое движение – изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени» и зададим вполне естественный и законный вопрос: «Обладает ли пространство-время какими-то определёнными, неизменными свойствами?». Безусловно, да. Рассмотрим некоторые из них.

Возьмём механическую систему, состоящую из маятников – шариков, подвешенных на нитях (рис. 13). Отклоним один из шариков и пронаблюдаем за возникшим движением шариков. Возьмём другую механическую систему (рис. 14). Приведём в движение «железнодорожный состав» по «железнодорожному пути».



Рис. 13



Рис. 14

Затем представим, что точно такие же механические системы мы расположили в другой области пространства, ориентируя их в пространстве точно также (параллельный перенос). Запустим процессы во всех системах одновременно. Будут ли процессы протекать одинаковым образом? Будут ли игрушечные составы одинаково двигаться по железнодорожным путям? Одинаково ли будут происходить колебания шариков-маятников? Возможно, например, следующее возражение: если маятники окажутся на вершине горы, то из-за ослабления силы тяготения Земли движение шариков изменится.

Тогда уточним ситуацию: *объединим в систему всё, что существенно влияет на тела системы*, то есть, например, в случае маятников включим в систему и Землю. Группу тел, которые взаимодействуют только между собой (а действие на тела системы других тел, не включённых в систему, ввиду малости этого действия можно не учитывать), называют **замкнутой системой**.

В случае двух *одинаковых замкнутых систем*, расположенных в разных областях пространства, будут ли в этих системах физические процессы происходить одинаковым образом? Многочисленные наблюдения подтверждают тот факт, что при параллельном переносе в пространстве замкнутой системы из одного места в другое ход механических процессов в системе не меняется. Такое свойство одинаковости пространства во всех его точках называют *свойством однородности пространства*.

Как остроумно заметил Сергей Васильевич Громов, автор одного из учебников по механике, «мир действительно обладает пространственной однородностью. И самым простым доказательством тому служит то, что каждый раз, когда мы просыпаемся утром, не замечаем того, что находимся уже совершенно в другом месте Галактики. Ведь вместе со всей Солнечной системой мы движемся вокруг центра Галактики со скоростью 250 км/с».

Будет ли зависеть ход процессов в замкнутых механических системах от того, в какой момент времени будут «запущены» процессы? Опыт показывает, что нет. Такое свойство равнозначности всех моментов времени, независимости протекания процессов в замкнутой системе от того, в какой момент времени они начались, называют *свойством однородности времени*.

Каждому знакомо такое слово как симметрия, тесно связанное с понятием соразмерности, чувством красоты. Какой объект мы называем симметричным? Пусть, например, шар может вращаться вокруг оси, проходящей через центр шара (рис. 3). Шар симметричен – при повороте шара на любой угол вокруг указанной оси шар выглядит точно также. Пусть куб может вращаться вокруг оси, параллельной рёбрам куба и проходящей через центр куба (рис. 4). Куб симметричен – при повороте куба на угол 90° вокруг данной оси куб выглядит точно так же.

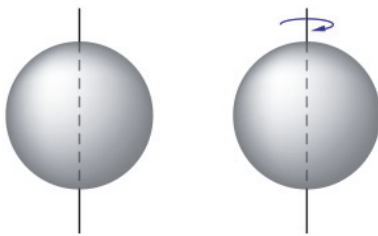


Рис. 15

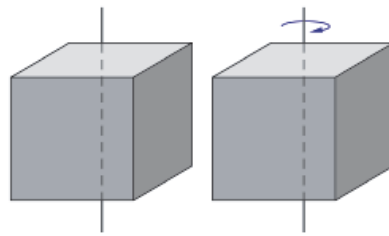


Рис. 16

Симметрично уложена, например, тротуарная плитка на дорожке – при параллельном сдвиге на расстояние, кратное размеру плитки, «рисунок» не меняется.

Аналогичным образом можно сказать, что *наш мир обладает определённой пространственно-временной симметрией*: параллельный перенос в пространстве (однородность пространства) и перенос начала отсчёта времени (однородность времени) не отражается на ходе физических процессов, а значит, и на уравнениях физических законов, которыми описываются эти процессы.

Изучая природу, учёные-физики установили *особые фундаментальные законы – законы сохранения*. Такие величины, например, как энергия и импульс замкнутой системы, остаются неизменными в ходе процессов, которые происходят в системе.

В чём особенность законов сохранения? Другие законы, например, законы Ньютона, позволяют, если известна сила, действующая на тело, рассчитать ускорение, скорость, координату тела в любой момент времени, то есть, дают возможность провести детальный поэтапный анализ процесса. Законы же сохранения – это «шлагбаумы» на пути протекания процессов. Если выяснено, что в ходе того или иного процесса в какой-то момент времени не будет соблюдаться тот или иной закон сохранения, то «шлагбаум опущен» – физик знает, что в природе такой процесс невозможен (один из общеизвестных примеров – проблема «вечного двигателя»). Если же все законы сохранения выполняются, то «шлагбаум открыт» и можно вести научный поиск по обнаружению процесса, возможно (но не обязательно!) существующего в природе.

В чём фундаментальность законов сохранения? Фундаментальность законов сохранения заключается в их универсальности – они справедливы для любых физических процессов (механических, тепловых, электрических, магнитных, внутриядерных), для объектов любого размера – от галактик до электрона.

В 1918 году немецкий математик Эмми Нётер доказала замечательную теорему физики, которую в упрощённом виде можно сформулировать следующим образом:

Каждому свойству симметрии пространства и времени соответствует свой закон сохранения.



Эмми Нётер (1882–1935). Немецкий математик.

Великий физик Альберт Эйнштейн писал: «По отзывам наиболее компетентных из ныне живущих математиков, фрейлейн Эмми Нётер входила в число самых значительных и самых творческих гениев математики»

Так, из теоремы Нётер следует, что *однородности пространства соответствует закон сохранения импульса, а однородности времени соответствует закон сохранения энергии.*

Проиллюстрируем эти утверждения некоторыми примерами.

1. Закон сохранения импульса и однородность пространства.

Пусть мы имеем замкнутую систему, состоящую из двух тел, и пусть на первое тело со стороны второго тела действует сила F_1 , а на второе тело со стороны первого тела действует сила F_2 . Однородность пространства означает следующее: перенесём частицы в пространстве на расстояние \vec{s} , и так как ход процессов в замкнутой системе измениться не может, то общая работа сил F_1 и F_2 при перемещении точки приложения силы на \vec{s} , должна быть равна 0.

Это будет выполняться только в том случае, когда

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Знакомо ли нам это равенство? Да. Опираясь на свойство однородности пространства, нами получен третий закон Ньютона.

III закон, конечно же, был нам известен и ранее, но справедливость закона была обоснована только обобщением опытных фактов. Сейчас же мы подтвердили закон и теоретически! Теперь, опираясь на III закон Ньютона, который является следствием однородности пространства, не составляет труда теоретически обосновать и закон сохранения импульса¹. Достаточно только использовать формулу II закона Ньютона и формулы, определяющие ускорение и импульс.

2. Закон сохранения энергии и однородность времени.

Предположим, что время неоднородно. Пусть, к примеру, гравитационная постоянная, а значит, и ускорение свободного падения, различны (то меньше, то больше) в разные моменты времени. Тогда в моменты «лёгкого времени» можно было бы поднимать груз, а в моменты «тяжёлого времени» сбрасывать поднятый груз с высоты и иметь выигрыш в работе и нарушение «золотого правила» механики. Однако, подобного рода нарушения закона сохранения энергии не происходят.

Заметим в заключение, что симметрии физической системы не исчерпываются однородностью пространства и однородностью времени, а значит, как утверждает теорема Нётер, существуют и другие законы сохранения. Вы познакомитесь с ними при дальнейшем изучении физики².

Литература

1. Громов, С. В. Физика: Механика: Учеб. для 9 кл. общеобразоват. учреждений / С. В. Громов. – М. : Просвещение, 1997. – 206 с. – С. 40–46.

¹ Смотрите, например, учебник: Андрюшечкин, С. М. Физика. 9 кл. : учеб. для общеобразоват. учреждений / С. М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2013. – 320 с. – С. 84–85.

² Напомним об ещё одном из числа известных вам законов сохранения – законе сохранения электрического заряда.

РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Реактивным движением, как вам известно, называют движение тела, возникающее при отделении от тела некоторой его части с какой-то скоростью. Хорошо известным примером реактивного движения служит движение наполненного воздухом воздушного шарика, которое возникает, если развязать нить, стягивающую отверстие шарика, и выпустить его из рук.



Как объяснить возникновение реактивного движения на основе закона сохранения импульса?

Каждому хорошо известны примеры применения реактивного движения в технике – реактивные самолёты, ракеты, выводящие на орбиту спутники и космические корабли. Но, оказывается, реактивное движение встречается и в живой природе. Наиболее известные обладатели реактивных «двигателей» – это обитатели морей и океанов головоногие моллюски: осьминоги, каракатицы, кальмары.

У осьминогов, как у всех моллюсков, отсутствует скелет. Тело овальное мешковидное, покрытое кожей – мантией, образующей различной величины складки. На голове расположено восемь длинных щупалец – «рук». «Руки» имеют от одного до трёх рядов присосок. У взрослого осьминога присосок около 2000, каждая из которых обладает держащей силой около 1 Н. Длина тела осьминога обыкновенного достигает 25 см. Руки-щупальца гораздо длиннее – 90 см, но могут достигать и 120–130 см; масса тела до 10 кг (рис. 17). Взрослые особи других видов осьминогов имеют длину до 4 м, а их масса достигает 300 кг. Обитают осьминоги от мелководья до глубины 100–150 м. Предпочитают скалистые прибрежные зоны, охотясь из засады на рыб, креветок, крабов, при необходимости изменяют свою окраску, приспосабливаясь к окружающей среде.

Используя щупальца с присосками, осьминог может перемещаться по дну и даже отвесным скалам. Также осьминог может плавать, используя «водомётный двигатель» на основе воронкообразной камеры, в которую поступает вода. Вот как представил этот процесс немецкий зоолог и путешественник Альфред Эд-



Рис. 17. Осьминог обыкновенный

мунд Брэм (1829–1884) в своей знаменитой научно-популярной работе «Жизнь животных»: «Приподняв несколько края мантии, животное набирает воду в воронку и затем сильными мускулами сразу сжимает её, причём вода сильной струёй вырывается из узкого отверстия воронки и даёт толчок, который быстро подвигает тело в противоположном направлении». Следует заметить, что оба способа передвижения не делают осьминога «супербегуном» и «суперпловцом» – он движется медленнее, чем плавают рыбы.

Сходный по конструкции «вodomётный двигатель» имеют и каракатицы. Например, типичный представитель каракатиц – лекарственная каракатица, которая обитает в Атлантическом океане и Средиземном море (рис. 18). Её размеры достигают 20–30 см, такой же



Рис. 18. Лекарственная каракатица

длины могут быть и хватательные щупальца. Всего у каракатиц восемь щупальцев-рук и ещё два специальных хватательных щупальца, все они усеяны присосками. Хватательные щупальца спрятаны в специальные карманы под глазами, они «выстреливают» оттуда только в момент атаки. Для передвижения каракатицы используют также и плавники, но так как скорость передвижения невелика, то в случае опасности каракатицы

выделяют синевато-чёрную жидкость, и под прикрытием завесы из этой маскировочной жидкости спасаются бегством.

Самый совершенный реактивный двигатель среди головоногих моллюсков имеют кальмары. Существуют сотни видов кальмаров, отличающихся размерами и массой, местами обитания, особенностями строения.



Рис. 19. Обыкновенный кальмар

У обыкновенного кальмара длина тела с щупальцами составляет 50 см, масса – 1,5 кг. Тело имеет стройную, обтекаемую форму и окрашено в серые и красные цвета. Имеет парные, горизонтальные, относительно большие боковые плавники, расположенные с обеих сторон мантии, которые придают телу ромбовидную форму (рис. 19). Распространён в прибрежных водах восточной части северной Атлантики, а также в Средиземном и Адриатическом морях. Держится на глубине примерно до 100 м и больше,

но может встречаться и на глубине от 400 до 500 м.

Такой вид кальмаров, как гигантский кальмар может вырастать до огромных размеров, по современным данным максимальная длина от конца плавников до кончиков ловчих щупалец составляет около 8 м (рис. 20). Таким образом, это одно из крупнейших по величине беспозвоночных животных. Научно задокументированные экземпляры имели массы в несколько сот килограммов.



Рис. 20. Гигантский кальмар, обнаруженный вблизи Тронхейма (Норвегия) в 1954 году



Рис 21. Сравнение размеров антарктического гигантского кальмара и аквалангиста

Гигантский кальмар встречается во всех океанах Земли. Предполагают, что он обитает на глубине примерно от 300 до 1000 м.

В 2004 году в районе Фолклендских островов рыболовецким тралом был пойман и доставлен в Музей естественной истории в Лондоне для изучения гигантский кальмар длиной 8,62 м. В декабре 2015 года гигантский кальмар длиной 3,7 м был обнаружен и заснят на видео вблизи острова Хонсю (300 км к северо-западу от Токио).

Солидные размеры имеет и антарктический гигантский кальмар. Его максимальный размер не менее 10 м, а возможно даже 13–14 м общей длины, а масса около полтонны (рис. 21). Обитает главным образом в антарктических водах, где встречается на глубинах до 2000–4000 м.

Рассмотрим, каково устройство реактивного двигателя кальмара (рис. 22). Снизу, у «шей» кальмара заметна узкая щель – мантийное отверстие. Из неё, словно пушка из амбразуры, торчит наружу какая-то трубка. Это воронка – «сопло» реактивного двигателя. И щель, и воронка ведут в обширную мантийную полость в «животе» у кальмара – это «камера сгорания» живой ракеты. Всасывая в неё воду через широкую мантийную щель, моллюск с силой выталкивает её затем через воронку. Чтобы вода не вытекала обратно через



Рис. 22

щель, кальмар её плотно замыкает при помощи особых «застёжек – кнопок», когда «камера сгорания» наполнится заборной водой. По краю мантийного отверстия расположены хрящевые грибовидные бугорки. На противоположной стороне щели им соответствуют углубления. Бугорки входят в углубления и прочно запирают все выходы из камеры, кроме одного – через воронку.

Когда моллюск сокращает брюшную мускулатуру, сильная струя воды бьёт из воронки-«сопла». Отдача толкает кальмара в противоположную сторону. Воронка направлена к концам щупалец, поэтому головоногий моллюск плывёт хвостом вперёд. Всасывание воды в мантийную полость и реактивные толчки с неувимой быстротой следуют одно за другим, и кальмар ракетой проносится в синеве океана.

Если бы толчки были отделены друг от друга значительными промежутками времени, то животное не получило бы особых преимуществ от такого передвижения. Чтобы ускорить темп реактивных «взрывов» и набрать большую скорость, необходима, очевидно, повышенная проводимость нервов, которые возбуждают сокращение мышц, обслуживающих реактивный двигатель. Проводимость же нерва, при прочих равных условиях, тем выше, чем больше его диаметр. И действительно, у кальмаров мы находим самые крупные в животном царстве нервные волокна. Диаметр их достигает целого миллиметра – в пятьдесят раз больше, чем у большинства млекопитающих, – и проводят возбуждение они со скоростью двадцать пять метров в секунду. У трехметрового кальмара дозидикуса (он обитает у берегов Чили) толщина нервов вообще фантастически велика – восемнадцать миллиметров! Нервы толстые, как верёвки! Электрические сигналы мозга – возбудители сокращений – мчатся по нервной «автостраде» кальмара со скоростью легкового автомобиля – девяносто километров в час!

Мощный реактивный двигатель позволяет отдельным видам кальмаров не только быстро двигаться в воде, но и летать (рис. 23).



Рис. 23. Летящие кальмары *Ommastrephes bartramii*.
Фото с сайта kayakerofishingtackle.com

Для того чтобы совершить полёт, кальмар включает реактивный двигатель, направляя тело под углом к поверхности воды. При этом моллюск движется хвостом вперед, головой назад. Вылетев из воды, кальмар расправляет хвостовой плавник, и, что самое главное, дугой изгибает «руки» – натягивает расположенными между ними перепонки. Благодаря широкому плавнику на хвостовом конце тела (в полёте он оказывается передним) и растянутым перепонкам на

руках кальмар получает фактически два широких крыла на переднем и заднем концах тела. Своими «крыльями» кальмары во время полёта не машут, они используют их лишь для планирования. Дальность полёта кальмаров достигает 50–60 м, при этом они поднимаются на высоту до 5–6 м.



Используя дополнительную литературу, выясните, с какой скоростью могут двигаться кальмары.

Литература

1. Брем, А. Э. Жизнь животных : В 3 т. / А. Э. Брэм ; Обраб. для юношества по послед. нем. изд. под ред. А. М. Никольского. – М. : Изд. центр «Терра», 1992. Т. 3: Пресмыкающиеся. Земноводные. Рыбы. Беспозвоночные. – М. : Изд. центр «Терра», 1992. – 459 с. – С. 382–392.
2. Кац, Ц. Б. Биофизика на уроках физики. Из опыта работы. Пособие для учителей / Ц. Б. Кац. – М. : Просвещение, 1974. – 128 с. – С. 19–20.
3. Акимушкин, И. И. Приматы моря / И. И. Акимушкин. – 2-е изд. – М. : Мысль, 1974. – 152 с. – С. 16–18.
4. Несис, К. Полёт кальмара / К. Несис // Наука и жизнь. – 1982. – № 2. – С. 80–83.

КАК ВОЗНИКАЕТ ПОДЪЁМНАЯ СИЛА КРЫЛА САМОЛЁТА

Извечной мечтой людей была мечта овладеть просторами воздушного океана. Первоначально в воздух поднялись воздушные шары, наполненные горячим воздухом или лёгкими газами (водородом, гелием). Во второй половине XIX века начались полёты управляемых воздушных шаров – дирижаблей. Воздушные шары удерживаются в воздухе благодаря действию на них выталкивающей (архимедовой) силы со стороны окружающего их атмосферного воздуха.



1. Корпус дирижабля представляет собой тело обтекаемой формы объёмом от 2000 до 200 000 м³. Почему дирижабли имеют такой значительный объём?

На рубеже XIX–XX веков многочисленные энтузиасты воздухоплавания приступают к конструированию, строительству и испытаниям летательных аппаратов тяжелее воздуха. Вначале это планеры, которые не имеют мотора и разгоняются и отрываются от земли при их буксировке. Затем летательные аппараты начинают оснащать двигателями. Значительных успехов здесь добились американские изобретатели братья Райт. В ходе многочисленных экспериментов с планерами с 1899 по 1902 год они разработали систему управления летательного аппарата тяжелее воздуха, идеи которой до настоящего времени лежат в основе управления самолётами. По мнению историков техники, разработка эффективного управления самолётом и поддержания его равновесия в полёте является важнейшим вкладом братьев Райт в становление авиации.

В 1903 году братья Райт строят самолёт «Флайер-1», оснащённый бензиновым двигателем. Для уменьшения массы детали самолёта выполняются из де-



Рис. 24. Первый успешный полёт «Флайера-1» 17 декабря 1903 г. «Флайер-1» имел размах крыла 12 м, массу 283 кг и был оснащён двигателем мощностью 9 кВт

рева, в конструкции двигателя широко применён алюминий, лопасти пропеллера диаметром 2,6 м были склеены из трёх кусков ели. 17 декабря 1903 года их самолёт пролетел 36,5 м за 12 с (рис. 24). Первый самолёт, конечно же, не имел кабины пилота и более того, пилот располагался в самолёте лёжа, на плоскости нижнего крыла.

Попробуем выяснить, используя метод размерностей, как подъёмная сила $F_{под}$ крыла самолёта зависит от скорости v его движения относительно воздуха, площади крыла S и плотности ρ воздуха, который давит на крыло.

Выпишем размерности всех величин:

Подъёмная сила $F_{под}$	$H = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$
Скорость v	м/с
Площадь крыла S	м ²
Плотность воздуха ρ	кг/м ³

Как из величин v , S , ρ составить комбинацию, имеющую размерность силы ($H = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$)? Видно, что килограмм входит в размерность плотности, а секунда – в размерность скорости, причём скорость в искомой формуле должна быть в квадрате.

В итоге (проверьте):

$$F_{под} \sim \rho v^2 S.$$

Такое выражение мы получили, применив метод размерности, но, конечно же, эта зависимость не отвечает на все вопросы, связанные с расчётом подъёмной силы. Например, мы знаем, что подъёмная сила зависит от формы крыла, от его угла наклона. Следовательно, в точную формулу для вычисления подъёмной силы должен входить ещё безразмерный (не имеющий единиц измерения) коэффициент, зависящий от геометрии крыла и от его ориентации в потоке воздуха.

За чуть более чем вековую историю мировой авиации были достигнуты грандиозные успехи в гражданском и военном самолётостроении. Так, например, сконструированный и строящийся во Франции широкофюзеляжный двухпалубный четырёхдвигательный турбореактивный пассажирский самолёт Airbus A380 способен совершать беспересадочные перелёты на расстояние до 15 400



Рис. 25

км с 525 пассажирами на борту в салонах трёх классов (853 пассажира в одноклассной конфигурации). Высота самолёта 24 м, длина 73 м, размах крыла 79 м, максимальная взлётная масса свыше 650 т (рис. 25). О сложности технической «начинки» самолёта можно составить представление по такому факту: при строительстве каждого самолёта необходимо прокладывать 530 км электропроводки.



Рис. 26

Российский сверхзвуковой стратегический бомбардировщик-ракетоносец с крылом изменяемой стреловидности Ту-160 («Белый лебедь») – самый крупный и самый мощный в истории военной авиации сверхзвуковой самолёт, имеющий наибольшую среди бомбардировщиков максимальную взлётную массу. Длина самолёта: 54,1 м, высота: 13,1 м, площадь крыла: 232 м², максимальная взлётная масса: 275 т (рис. 26). Четыре двигателя самолёта, для работы которых

13 баков самолёта заправляют 171 м³ топлива, позволяют развивать скорость 2200 км/ч, находиться в полёте более суток при максимальной дальности полёта (без дозаправки в воздухе) около 14 000 км.

По каким же физическим причинам возникает та подъёмная сила, действующая со стороны воздуха на крыло самолёта, что удерживает огромные многотонные самолёты в полёте?

Для ответа на этот вопрос первоначально необходимо выяснить содержание уравнения, называемого уравнением Бернулли. Это уравнение было выведено швейцарским физиком, механиком и математиком Даниилом Бернулли (1700–1782) в годы его работы в Петербургской академии наук и опубликовано им в 1738 году.

Итак, рассмотрим движение несжимаемой жидкости в трубе переменного сечения. Для простоты будем считать, что труба расположена горизонтально (рис. 27).

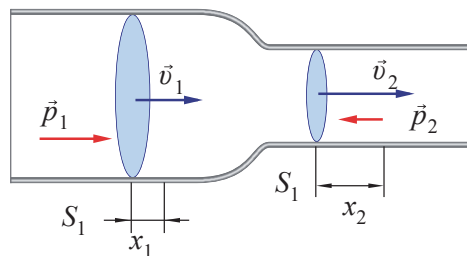


Рис. 27

Так как за одно и то же время t через поперечные сечения S_1 и S_2 трубы проходит один и тот же объём V жидкости (жидкость несжимаема), то, очевидно, в узком сечении S_2 трубы скорость жидкости v_2 больше, чем скорость жидкости v_1 в широком сечении трубы S_1 :

$$v_2 > v_1.$$

Если скорость жидкости возрастает, если возрастает её кинетическая энергия, то совершается положительная работа внешними силами F_1 и F_2 , действующими на жидкость. Пусть внешняя сила F_1 давит на жидкость в сечении S_1 и перемещает жидкость на расстояние x_1 . Тогда работа A_1 этой силы будет равна

$$A_1 = F_1 x_1.$$



2. Как определяют физическую величину давление?

Если в сечение S_1 давление жидкости равно p_1 , то

$$F_1 = p_1 S_1.$$

и тогда

$$A_1 = p_1 S_1 x_1.$$

Очевидно, что объём V жидкости, прошедшей через сечение S_1 за время t , равен

$$V = S_1 x_1.$$

Окончательно имеем

$$A_1 = p_1 V. \quad (1)$$

Внешняя сила F_2 , которая давит на жидкость в сечение S_2 , совершит работу A_2 , равную

$$A_2 = -F_2 x_2,$$

где x_2 – перемещение жидкости объёмом V за рассматриваемое время t в сечении S_2 .

(Думаю, вам понятно, почему работа A_2 является отрицательной величиной.)

Выполнив преобразования, аналогичные тем, что мы провели при расчёте работы A_1 , получим:

$$A_2 = -p_2 V. \quad (2)$$

Итак, за время t внешними силами, действующими на жидкость, совершена работа $A_1 + A_2$, равная, с учетом формул (1) и (2),

$$A_1 + A_2 = (p_1 - p_2)V. \quad (3)$$

Проведём расчёт изменения кинетической энергии жидкости:

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

где m – масса жидкости объёмом V .

Если плотность жидкости равна ρ , то

$$m = \rho V$$

и изменение кинетической энергии составит

$$\rho V \left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right). \quad (4)$$

Так как работа внешних сил, действующих на тело, равна изменению кинетической энергии тела, то с учётом формул (3) и (4) получим

$$(p_1 - p_2)V = \rho V \left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right),$$

$$p_1 - p_2 = \rho \left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right),$$

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2},$$

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}.$$

Полученное соотношение и называется в физике уравнением Бернулли.

Проанализируем полученный результат: если труба сужается, то скорость жидкости увеличивается, а значит, давление в ней уменьшается. Или, как писал сам Бернулли в своём знаменитом труде «Гидродинамика или записки о силах и движениях жидкостей»: «Давление в трубе бывает тем бóльшим, чем она шире и чем ниже она расположена».

Для нашего дальнейшего рассмотрения причин возникновения подъёмной силы крыла самолёта важен факт, являющийся прямым следствием уравнения Бернулли: *чем выше скорость потока жидкости или газа, тем меньшее давление он производит*.

Теперь мы можем в общих чертах выяснить механизм возникновения подъёмной силы крыла самолёта. Пусть крыло движется в потоке воздуха (рис. 28).

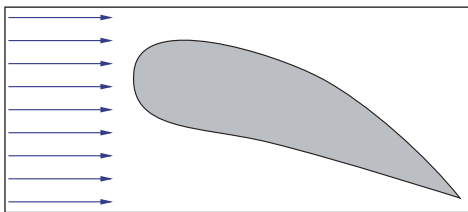


Рис. 28

При этом движении важную роль играет поверхность крыла, где за счёт «зацепления» воздуха, за счёт вязкости потока возникает поверхностный слой, имеющий меньшую скорость. Таким образом, у самой поверхности крыла скорость потока, меньше чем на удалении от крыла (в направлении перпендикулярном поверхности

крыла). Это приводит к завихрению воздуха вблизи поверхностей крыла. При определённой форме крыла и определённом угле наклона крыла относительно потока воздуха (этот угол называют углом атаки) происходит срыв вихря с нижней поверхности крыла. При этом «оторвавшийся» вихрь вращается против часовой стрелки (рис. 29).



Рис. 29. Образование вихря вблизи задней кромки крыла самолёта.

Изображение взято из классического труда «Гидро- и аэромеханика», подготовленного по материалам лекций немецкого механика и физика, одного из основателей современной аэродинамики Людвиг Прандтля (1875–1953). В ходе данного эксперимента модель крыла помещали в поток воды и двигали в потоке. В воду был добавлен мельчайший алюминиевый порошок, и вода освещалась ярким светом. Так как фотографирование длилось некоторое время, то освещённые частицы алюминия, пришедшие вместе с водой в движение, успевали сместиться и в итоге «оставляли» на фотографии чёрточки-следы



3. Представьте, что вы стоите на горизонтально расположенном круглом диске-карусели, которая может вращаться вокруг вертикально оси. Что произойдёт с каруселью, если вы начнёте двигаться?

Первоначально воздух в потоке, набегающем на крыло самолёта, не вращался. Если какая-то часть воздуха приходит во вращательное движение против часовой стрелки, то другая часть воздуха должна начать вращаться вокруг крыла по часовой стрелке, как это показано на рисунке 30.

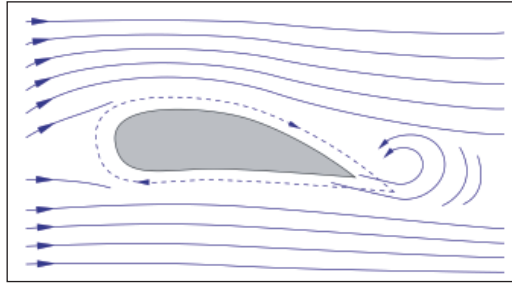


Рис. 30. Поток воздуха движется слева направо. Оторвавшийся от крыла вихрь вращается против часовой стрелки. Вокруг крыла воздух начнёт вращаться по часовой стрелке

Таким образом, на движение основного потока воздуха, набегающего на крыло, накладывается циркуляция (круговорот) скорости воздуха по часовой стрелке. В результате скорость воздушного потока под крылом уменьшится, а над крылом – увеличится. В соответствии с уравнением Бернулли это приведёт к тому, что давление под крылом возрастёт, а над ним – уменьшится.

В результате возникает подъёмная сила, направленная вверх.

Теория крыла летательного аппарата является математически сложным разделом аэродинамики. Одним из создателей современной аэродинамики, чьи идеи лежат в основе авиационной науки, является русский учёный Николай Егорович Жуковский (1847–1921). Им была сформулирована основополагающая теорема, позволяющая определять величину подъёмной силы крыла самолёта, разработан математический аппарат для решения задач обтекания крыла, разработаны теоретические основы проектирования воздушных винтов.

Литература

1. Кабардин, О. Ф. и др. Факультативный курс физики: 8 кл. Учеб. пособие для учащихся / О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов, А. В. Пономарёва. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1985. – 205 с. – С. 157–164. § 24. Движение тел в жидкостях и газах.

2. Стасенко, А. Л. Физика полёта / А. Л. Стасенко. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 144 с. – (Б-ка «Квант». Вып. 70) – С. 17–19.

УЛЬТРАЗВУК. ИНФРАЗВУК

Звук, воспринимаемый органом слуха человека, это колебательное движение частиц упругой среды (газообразной, жидкой или твёрдой) при распространении упругой продольной волны, происходящее с определённой частотой – от 16 до 20 000 Гц.

Неслышимый человеком звуки с частотой выше 20 кГц называют ультразвуком. Для получения «солидных» ультразвуковых частот от нескольких десятков килогерц до миллионов герц, применяемых в промышленности, медицине, технике, используют так называемые пьезокерамические преобразователи, например, из титаната бария $BaTiO_3$. Принцип их действия основан на том, что если пластинку, изготовленную из титаната бария, поместить в переменное электрическое поле, то пластинка под действием электрического поля будет периодически сжиматься и расширяться – совершать механические колебания, то есть станет источником ультразвука.

Как вам известно, ультразвук находит широкое практическое применение в медицине для диагностики и в качестве средства лечения, в производстве для приготовления смесей, очистки изделий, для ультразвуковой сварки и обнаружения внутренних дефектов в технических изделиях.

Встречаемся мы с ультразвуком и в природе. Ультразвуковой эхолокацией пользуются дельфины. Ультразвуковые локаторы летучих мышей помогают им в ночной охоте, а в свою очередь их добыча – ночные бабочки семейств медведиц – «изобрели» генератор ультразвуковых помех, сбивающий с толку летучих мышей. Применяют ультразвук и для дрессировки собак (собаки воспринимают звуки частотой до 40 кГц). Источником ультразвука в этом случае является специальный ультразвуковой свисток.

Менее известен и менее изучен инфразвук – акустические колебания в частотном диапазоне до 20 Гц. Инфразвуки возникают в самых различных условиях: при обдувании ветром зданий, заводских труб, деревьев, столбов, при работе различных приборов. Иными словами, мы живём в мире неслышимых нами звуков, в мире инфразвука.

Широкое применение человеком всё более мощных и крупногабаритных машин и механизмов приводит к увеличению числа источников инфразвука и его мощности. В современном производстве и на транспорте источниками инфразвука являются компрессоры, турбины, промышленные вентиляторы, тяжёлые машины с вращающимися частями, двигатели самолётов и вертолётов, дизельные двигатели судов и подводных лодок, а также наземные транспортные средства.

Накопленные медиками с 70-х годов прошлого века данные свидетельствуют, что инфразвуковые волны оказывают неблагоприятное действие на организм и вызывают изменения нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной и других систем. Инфразвук оказывает раздражающее действие, особенно на психоэмоциональную сферу, и вызывает ощущения вибрации грудной и брюшной стенок, нарушение ритма дыхания, головную боль, головокружение, ощущение необъяснимого страха и беспокойства, сменяющееся чувством усталости, утомления, вялости и рассеянности.

Для борьбы с «инфразвуковым загрязнением» разработаны соответствующие санитарные нормы, которые определяют предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах, а также допустимые уровни инфразвука в жилищах и общественных помещениях и на территории жилой застройки.

Помимо общих закономерностей, характерных для упругих волн, инфразвук обладает целым рядом особенностей, связанных с низкой частотой колебаний среды, в которой распространяется инфразвук, и большой длиной волны инфразвука:

- инфразвук имеет во много раз большие амплитуды колебаний, чем акустические волны, при равных мощностях источников звука;
- благодаря слабому поглощению в воздушной среде инфразвук распространяется на большие расстояния в атмосфере;
- для инфразвука характерно явление дифракции (огибание волнами препятствий), поэтому инфразвуки легко проникают в помещения и огибают преграды, задерживающие слышимые звуки;
- инфразвуковые колебания способны вызывать вибрацию крупных объектов вследствие явлений резонанса.

Указанные особенности инфразвуковых волн затрудняют борьбу с ними, так как классические способы, применяемые для снижения шума (звукопоглощение и звукоизоляция), а также удаление от источника в данном случае малоэффективны. Поэтому для организации защиты от инфразвука должны в первую очередь использоваться меры снижения инфразвука в источнике его образования, что необходимо учитывать при разработке конструкции соответствующего технического устройства.

Инфразвук часто возникает в океанах и морях (это явление получило название «голос моря»). Как установлено учёными, инфразвук зарождается над поверхностью воды в результате вихреобразования за гребнями волн и распространяется не только по воздуху, но и в воде. Отмечено, что отдельные виды прибрежной морской фауны (например, медузы) заблаговременно уплывают подальше от берега в открытое море, когда ещё, кажется, ничто не предвещает ухудшения погоды и надвигающегося шторма. Учёные объясняют это тем, что они реагируют на «голос моря» – инфразвук, распространяющийся в воде. Так как скорость ультразвука около 1500 м/с, скорость, например, волн-цунами в открытом океане около 200 – 220 м/с и уменьшается на мелководье, то видим, что у медуз и прибрежных рыб есть время на «эвакуацию».

Среди наземных животных хорошо слышат в области низких частот, вплоть до инфразвука, слоны. Индийские слоны способны издавать звуки частотой до 14 Гц, африканские же слоны – звуки частотой до 15 Гц. Исследования биологов показали, что существует много разных типов инфразвуковых сигналов: позывные слона, разлучённого со своей группой, отличаются от приветствен-

ного инфразвукового рокота членов семейной группы при встрече «потерянного» слона после нескольких часов разлуки и так далее. Особую важность инфразвуковые позывы приобретают при коммуникации на больших расстояниях.

Дополнительной возможностью коммуникации слонов, особенно при подаче сигнала тревоги, являются вибрации, вызываемые ударами о землю; возникающие при этом волны, распространяются в земле на десятки километров. Предположительно сигналы проходят в среднее ухо слона через кости передних конечностей. Прислушиваясь к таким сигналам, слоны переносят вес на передние ноги и на какое-то время замирают. Уловив сигнал тревоги, слоны становятся в защитную стойку, а семейные группы собираются вместе.

Инфразвуковые волны распространяются на огромные расстояния и несут в себе информацию о местонахождении и характере источника инфразвука. В том числе возникают инфразвуковые волны и при ядерных взрывах. По этой причине создана разветвлённая сеть инфразвуковых станций Международной системы мониторинга несанкционированных ядерных взрывов. О чувствительности используемых на таких станциях приборов можно судить, например, по тому, что измерительная аппаратура на основе инфразвукового микробарографа, установленная в России на инфразвуковой станции в 150 км от Иркутска, позволяет регистрировать сигналы волновых процессов, связанных с удалёнными штормовыми областями в Северной Атлантике.

Зафиксировали инфразвуковые станции, в том числе, и инфразвуковые волны, порождённые падением в феврале 2013 года Челябинского метеорита (точнее, фрагмента небольшого астероида). Первой о пролёте метеороида сообщила инфразвуковая станция, расположенная на Аляске (США) на расстоянии более 6460 километров от Челябинска; самая дальняя станция, которая зафиксировала данное событие, расположена в Антарктиде в 15 000 км от источника. Инфразвуковые волны обогнули Землю несколько раз. По оценкам специалистов размеры небесного странника составляли около 17 м, масса была порядка 10 000 тонн, а вошёл он в атмосферу Земли со скоростью около 18 км/с.



Оцените кинетическую энергию Челябинского метеорита в джоулях и «тротиловом эквиваленте». (Под тротильным эквивалентом понимают энергию, выделяющуюся при взрыве 1 т тротила.)

Литература

1. Хорбенко, И.Г. Звук, ультразвук, инфразвук. Изд. 2-е, перераб. и доп. / И.Г. Хорбенко. – М. : Знание, 1986. – 192 с.

ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА

В июне 1845 года молодой учёный, выпускник университета г. Утрехта (Нидерланды) Христофор Хенрик Дидерик Бёйс-Баллот организовал очень необычный концерт. Ему разрешили провести опыт на недавно построенной железной дороге между Утрехтом и Амстердамом. Бёйс-Баллот получил локомотив, развивающий по тем временам огромную скорость до 70 км/ч, и вагон-платформу. Опыт заключался в том, что музыканты-горнисты, находящиеся на движущейся платформе, и музыканты, стоящие на земле вблизи железнодорожного пути, поочередно слушали друг друга. В первом случае источник звука (музыканты на движущейся платформе) приближался, а затем удалялся от приёмника звука (музыканты-слушатели на земле). Во втором случае приёмник звука (музыканты-слушатели на движущейся платформе) двигался относительно неподвижного источника звука (музыканты-горнисты на земле). Эксперименты показали *изменение частоты колебаний, воспринимаемых наблюдателем, при движении источника колебаний и наблюдателя относительно друг друга*. При сближении звук воспринимался как более высокий (увеличение частоты), а при удалении – как более низкий (уменьшение частоты).

Объяснить данный эффект достаточно просто. Пусть источник волн и наблюдатель (приёмник волн) неподвижны и пусть источник излучает волны определённой частоты. Это означает, что гребни волн «покидают» источник через один и тот же определённый промежуток времени и, пройдя одно и то же неизменное расстояние, всякий раз через такой же промежуток времени фиксируются наблюдателем. Иными словами, наблюдатель регистрирует волну, частота колебаний которой равна частоте колебаний источника (рис 31, а).

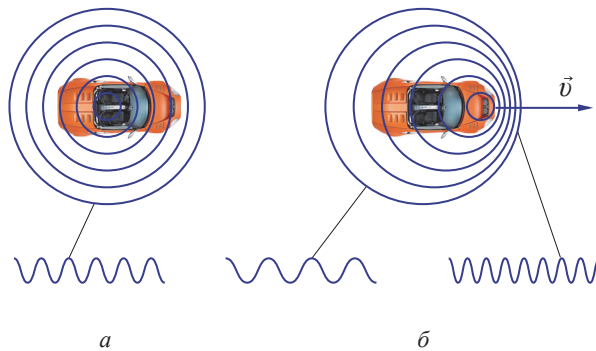


Рис. 31

Если же, например, источник волн движется в сторону наблюдателя, то гребню каждой последующей излучённой волны требуется меньше времени, чтобы дойти до наблюдателя, чем это было нужно гребню предыдущей волны. Значит, время между приходом двух «соседних» гребней сокращается, то есть наблюдатель регистрирует увеличение частоты колебаний (рис. 31, б). Удаление же источника волн от наблюдателя приводит к уменьшению частоты колебаний.



1. Пусть мимо вас проезжает машина с включённой сиреной (сирена выдаёт звук определённого тона). Как будет меняться высота тона по мере приближения и удаления машины?

Этот физический эффект носит название эффекта Доплера. Так он назван в честь австрийского математика и физика Кристиана Андреаса Доплера (1803 – 1853). 25 мая 1842 года на заседании отделения естественных наук Королевского научного общества Богемии в Праге он представил статью «О цветном свете двойных звёзд и некоторых других звёзд на небесах». Интересно отметить, что хотя первоначально доклад Доплера слушало всего пять человек, именно эта работа в дальнейшем сделала его имя широко известным в науке.

Своеобразие и научная сила этой работы заключается в применении метода аналогии при рассмотрении волн различной физической природы: с общей точки зрения рассматриваются и акустические волны, и световые волны. В то время физикам уже было доподлинно известно, что звуковые волны – продольные волны в упругой среде с частотой колебаний от 16 до 20 000 Гц. Что касается света, то было установлено, что это также волновой процесс, хотя природа световых волн в то время ещё не была ясна. Было уже известно, что высота звука определяется частотой колебаний упругой среды, в то время как цвет света – частотой соответствующих световых колебаний. Доплер первым обращает внимание на то, что восприятие звуковых и световых волн (высота звука и цвет света) зависят от движения наблюдателя (приёмника волн) или источника волн. Как пишет сам Доплер: «Мы знаем из опыта, что достаточно глубоко сидящий корабль, который идёт навстречу волнам, за то же самое время принимает больше волн и с большей интенсивностью по сравнению с кораблём, который неподвижен или идёт в направлении волн. Если это справедливо для волн на воде, то почему это не применимо с необходимыми изменениями для волн в воздухе или эфире?» («Волнами в эфире» Доплер называет световые волны.) В первой части работы, посвящённой общей теории волн, утверждается, что частота воспринимаемых волн зависят от движения источника и приёмника волн относительно друг друга, выводятся формулы, позволяющие рассчитать величину изменения частоты колебаний. Во второй части работы полученные результаты применяются для объяснения цвета звёзд.

Первоначально работа Доплера была воспринята критически, так как будучи теоретической, не содержала отсылок к результатам каких-либо экспериментов, её подтверждающих. Ситуация изменилась после подтверждения эффекта вначале для звуковых волн Бёйс-Баллотом и другими физиками. Затем в 1871 году было получено первое прямое экспериментальное подтверждение и для световых волн. Измерение частоты света, регистрируемого от противоположных краёв диска Солнца, дало различные значения, что объясняется вращением звезды вокруг своей оси.



2. Период вращения Солнца в зоне экватора равен 25,34 суткам. Рассчитайте, с какой скоростью приближаются и удаляются к земному наблюдателю области Солнца, находящиеся на противоположных краях солнечного экватора.

В настоящее время эффект Доплера является неотъемлемой частью современных астрофизических представлений, объясняющих эволюцию Вселенной.



3. Выясните, что такое «красное смещение» (термин, широко используемый в астрономии), почему оно возникает и к каким выводам пришли учёные, зарегистрировав красное смещение?

Эффект Доплера нашел и широкое практическое применение. Так этот эффект использован в полицейских радарах (слово заимствовано из английского языка, где *radar* – сложносокращенное существительное на базе *radio detecting and ranging* «обнаружение и определение расстояния посредством радио»). Радар излучает радиосигнал (длина волны электромагнитного излучения менее сантиметра) и регистрирует отражённый от движущегося автомобиля сигнал. По изменению частоты принятого радаром сигнала, прибор определяет скорость приближения или удаления автомобиля от радара.

Именно на основе эффекта Доплера осуществляется ультразвуковая диагностика, широко применяемая в медицине. Органы пациента «просвечивают» непрерывным или импульсным ультразвуком с частотой колебаний в несколько мегагерц. Изменение частоты ультразвука, отражённого от внутренних органов, стенок кровеносных сосудов, частиц крови (в основном от эритроцитов), позволяет медикам составить картину функционирования внутренних органов пациента, определить скорость и направления кровотока в кровеносных сосудах.

Литература

1. Физика. 11 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений и шк. с углубл. изучением физики: профил. уровень / А. Т. Глазунов, О. Ф. Кабардин, А. Н. Малинин и др.; Под ред. А. А. Пинского, О. Ф. Кабардина; Рос. акад. наук, Рос. акад. образования, изд-во «Просвещение». – 10-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 2009. – 416 с. – С. 79–82.

2. Кологривов, В.Н. История признания эффекта (принципа) Доплера / В.Н. Кологривов // Исследования по истории физики и механики. 2001. – М. : Наука, 2002. – С. 218–226.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Одно из грозных природных явлений, с которым приходится сталкиваться человеку, это землетрясение (сейсмическое явление, от греческого *seismos* – землетрясение). Порой землетрясение становится ужасной катастрофой, уносящей огромное число человеческих жизней и вызывающей разрушения зданий и сооружений. Ашхабадское землетрясение (Туркмения) в ночь с 5 на 6 октября 1948 года погубило 100 000 человек. В 1976 году жертвами Таншаньского землетрясения в Китае стали 250 000 человек. 7 декабря 1988 года в Армении землетрясением был разрушен город Спитак, погибло более 25 000 человек, а сотни тысяч получили ранения. 28 мая 1995 года разрушен стихией посёлок Нефтегорск на Сахалине, большая часть его жителей погибла. Подводное землетрясение в Индийском океане, произошедшее 26 декабря 2004 года, вызвало цунами, которое было признано самым смертоносным стихийным бедствием в современной истории. Цунами достигло берегов Индонезии, Шри-Ланки, юга Индии, Таиланда, других стран. Высота волн превышала 15 метров, что привело к огромным разрушениям; погибло около 300 000 человек.

Перечень таких катастроф будет продолжаться и далее, так как разной силы землетрясения происходили и происходят в различных точках земли. Предсказывать же время и место землетрясения, учёные-сейсмологи ещё не умеют. Это объясняется тем, что сложный механизм возникновения землетрясения в полном масштабе не установлен, имеются только отдельные модели, объясняющие те или иные стороны явления. В самых общих чертах причина землетрясений заключается в том, что земная кора – верхняя часть твёрдой оболочки Земли (литосферы) состоит из отдельных блоков – литосферных плит, находящихся в движении относительно друг друга. Движение литосферных плит, их столкновения приводят к резкому смещению горных пород, подземным толчкам и колебаниям земной поверхности, мгновенному высвобождению энергии, накопленной в напряжённо-деформированных горных породах.

Очаг (фокус) землетрясения может залегать на различной глубине от поверхности земли, но чаще всего очаги землетрясений сосредоточены в земной коре на глубине 10–30 км. От очага землетрясения распространяются колебания, возникшие за счёт сдвига горных пород. Эти упругие волны называют сейсмическими волнами. Различают продольные и поперечные сейсмические волны, распространяющиеся в земной коре, а также поверхностные сейсмические волны. Продольные волны – чередования зон сжатия и растяжения горных пород – проходят через твёрдые, жидкие и газообразные вещества. Поперечные волны распространяются только в твёрдых слоях вещества и не распространя-

ются в жидкой среде; смещают земные породы под прямым углом к направлению распространения. Скорость поперечных волн примерно в 2 раза меньше скорости продольных волн. Помимо объёмных продольных и поперечных волн непосредственно по земной поверхности распространяются (подобно ряби на воде) поверхностные волны. Эти волны распространяются с меньшей скоростью, чем поперечные волны и вместе с поперечными волнами «ответственны» за разрушения, вызываемые землетрясениями.

Часто очаг землетрясения и возникающие при этом сейсмические волны сравнивают с фонариком, «просвечивающим» земные недра. Действительно, когда, например, солнечные световые лучи проходят через атмосферу Земли, то они преломляются в различных по плотности слоях воздуха, рассеиваются. В итоге, дошедшие до земного наблюдателя световые лучи несут в себе информацию о состоянии земной атмосферы. Точно также и сейсмические волны, испытавшие преломление в различных слоях горных пород, возможно испытавшие отражения на границе различных областей литосферы, имеющих разную плотность и упругие свойства, доносят до сейсмологов информацию о внутреннем строении и свойствах земных недр.

Для регистрации сейсмических волн необходимы соответствующие приборы – сейсмографы. Заслуга создания таких приборов, в полной мере соответствующих поставленной задаче, принадлежит русскому физика, одному из основоположников сейсмологии¹ князю Борису Борисовичу Голицыну (1862–1916). Проведя обстоятельный математический анализ, он разработал теорию сейсмографа – прибора для регистрации сейсмических колебаний. Им были предложены варианты конструкций сейсмографов для регистрации сейсмических колебаний в горизонтальном направлении и для регистрации сейсмических колебаний в вертикальном направлении (рис. 32).

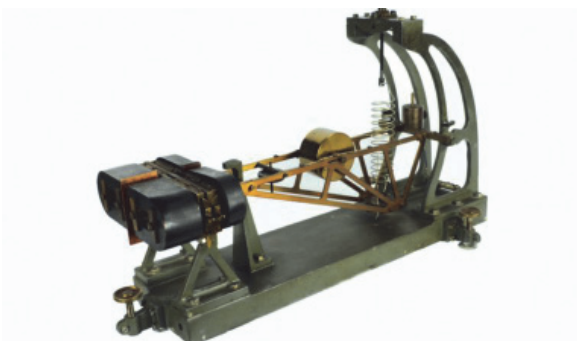


Рис. 32. Сейсмограф (вертикальный) конструкции Б. Б. Голицына

В 1906 году Голицыным был предложен совершенно новый для того времени и ставший классическим электромагнитный метод регистрации сейсмических колебаний: к грузу-маятнику сейсмографа крепилась катушка, располагавшаяся между полюсами магнита. При смещении груза-маятника в момент воздействия на прибор сейсмической волны, в катушке за счёт явления электромагнитной индукции возникал ток, который регистрировался высокочувствительным электроизмерительным прибором – гальванометром. К стрелке

¹ Сейсмология – наука, изучающая землетрясения и строение Земли посредством сейсмических волн.

гальванометра крепилось маленькое зеркало, и световой луч, отразившись от зеркала, «записывал» колебание на фотобумагу, рулон которой крепился на вращающемся барабане, и она непрерывно двигалась перед колеблющимся зеркалом (рис. 33).

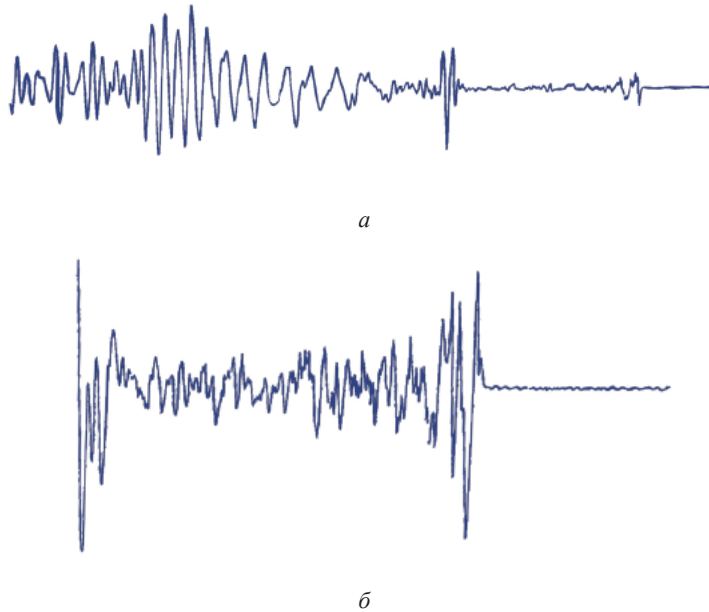


Рис. 33. Примеры реальных сейсмограмм, записанных горизонтальными сейсмографами системы Голицына, которые были установлены на сеймостанции Пулково:

a – запись землетрясения 9 февраля 1909 г.,

б – запись землетрясения 13 января 1915 г.

(Современные сейсмографы превратились в сейсмометры, так как фиксируют результаты измерений в цифровом виде и передают информацию дистанционно.)

Установка комплекса сейсмографов (двух горизонтальных сейсмографов, установленных взаимно перпендикулярно друг другу, и одного вертикального сейсмографа) позволило Б. Б. Голицыну определять угол, под которым сейсмическая волна достигает земной поверхности. Учёный писал: «Сейсмические лучи дают нам ключ к разгадыванию сокровенных тайн внутреннего строения земли и именно на таких глубинах, которые по своей недоступности совершенно изъяты из области исследования современной геологии».

Так как скорость продольных и поперечных сейсмических волн различна, то при землетрясении сейсмографы вначале регистрируют приход продольной волны, а через некоторое время – поперечной волны. Время запаздывания, очевидно, тем больше, чем дальше очаг землетрясения находится от наблюдателя. Таким образом, зная скорость продольных и поперечных волн и время запаздывания, можно рассчитать расстояние от наблюдателя до очага землетрясения. Располагая показаниями трёх сейсмических станций, можно определить и местонахождение очага землетрясения в недрах Земли. Б. Б. Голицын разработал способ решения подобной задачи по показаниям одной станции.

Труды Б. Б. Голицына в области сейсмологии получили международное признание. Сконструированный им электромагнитный сейсмограф признан лучшим в мире, такими приборами в начале XX века оснащаются сейсмические

станции Европы. В 1916 году он избран в члены Лондонского королевского общества. (О весомости такого события как избрание Б. Б. Голицына в ведущее научное общество Великобритании, одно из старейших в мире, свидетельствует, например, тот факт, что следующим российским учёным, избранным в это общество в 1929 году, будет выдающийся физик Пётр Леонидович Капица.)

В настоящее время, благодаря дальнейшему развитию сейсмологии, более глубокому пониманию физических процессов, происходящих при землетрясениях, использованию мощных современных вычислительных средств, делаются попытки научного прогнозирования развития сейсмических процессов в тех или иных регионах планеты. Но повышение достоверности таких прогнозов, их надёжности – дело не близкой научной перспективы. По этой причине крайне важной является задача раннего предупреждения об уже произошедшем землетрясении, что практически возможно благодаря различию скорости продольных и поперечных сейсмических волн. Образно говоря, продольные сейсмические волны «несут информацию» о том, что произошло землетрясение. Основные же разрушения «несут» более мощные поперечные сейсмические волны, а также поверхностные волны. Если сейсмические станции фиксируют продольную сейсмическую волну, в распоряжении аварийных и спасательных служб имеется несколько секунд на реагирование на это событие. Что можно сделать за несколько секунд? Очень много: остановить промышленные процессы, прекратить газоснабжение на производстве, включить красные сигналы светофоров, запретить въезд в туннели и на мосты, отменить взлёт и посадку самолётов, подать сигнал опасности населению. Эти меры позволяют существенно снизить экономический ущерб от землетрясения, уменьшить число людских жертв.

Литература

1. Короновский, Н. В., Абрамов, В. А. Землетрясения: причины, последствия, прогноз / Н. В. Короновский, В. А. Абрамов // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 12. – С. 71–78.
2. Крылов, А. Н. О работах кн. Б. Б. Голицына по сейсмологии / А. Н. Крылов // Успехи физических наук. 1918. – Т. I. – Вып. 2. – С. 101–107.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ: гениальное предвидение, теоретическое обоснование, экспериментальное открытие, практическое применение

В 1832 году великий английский физик-экспериментатор Майкл Фарадей (1791–1867) оставил в архиве Королевского общества для хранения запечатанный конверт с надписью «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в архивах Королевского общества». Обстоятельства сложились так, что на долгие 106 лет письмо затерялось в архиве и было вскрыто только в 1938 году. В письме, написанном Фарадеем менее чем через год после открытия им явления электромагнитной индукции, содержалось гениальное предвидение



Майкл Фарадей

существования в природе электромагнитных волн:

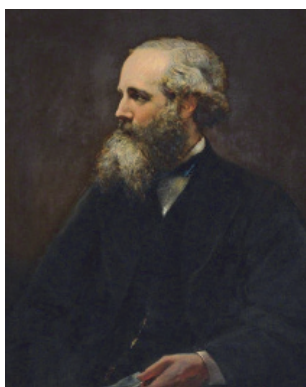
«Некоторые результаты исследований ... привели меня к заключению, что на распространение магнитного воздействия требуется время, ... влияющая причина (которую я позволю себе назвать магнетизмом) распространяется от магнитных тел постепенно и для своего распространения требует определённого времени, которое очевидно, окажется незначительным.

Я полагаю также, что электрическая индукция распространяется точно таким же образом. Я полагаю, что распространение магнитных сил от магнитного полюса похоже на колебание частиц воздуха, т. е. я намерен приложить теорию колебаний к магнитным явлениям, как это сделано по отношению к звуку, и является наиболее вероятным объяснением световых явлений.

По аналогии я считаю возможным применить теорию колебаний к распространению электрической индукции. ...

В настоящее время, насколько мне известно, никто из учёных, кроме меня, не имеет подобных взглядов».

«Перевод» воззрений Фарадея на язык высшей математики был осуществлён великим английским физиком-теоретиком Джеймсом Клерком Максвеллом (1831–1879). В опубликованной им



Джеймс Клерк Максвелл

в 1864–1865 годах работе «Динамическая теория электромагнитного поля» об электромагнитном поле говорится как о физической реальности, приводятся математические соотношения, описывающие свойства поля, – знаменитая система уравнений Максвелла. Как одно из следствий теории предсказывается возможность существования электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью света.

Как писал в дальнейшем академик Мандельштам (1879–1944), один из основателей отечественной научной школы радиофизики, *«громдное познавательное значение взглядов Фарадея – Максвелла и в особенности теория Максвелла заключалось именно в том, что эта теория, наряду с объяснением уже известных фактов, предсказывала – и не только в общих чертах, а весьма конкретно, вплоть до количественной стороны – существование новых, до тех пор неизвестных явлений: существование электромагнитных волн – одно из них, хотя, может быть, и самое главное».*

Теория электромагнетизма Фарадея – Максвелла не сразу получила всеобщее признание в научном мире. Во-первых, потому, что в то время существовали и другие теории, разработанные авторитетными учёными-физиками, а во-вторых, потому, что на тот момент отсутствовали значимые экспериментальные доказательства, подтверждающие теорию. Решающие доводы в пользу теории Фарадея и Максвелла были получены в опытах, осуществлённых выдающимся немецким физиком Генрихом Рудольфом Герцем (1857–1894). В экспериментах, проведённых в 1886–1888 годах, им было подтверждено существование электромагнитных волн, измерена их скорость и исследованы свойства электромагнитных волн.



Генрих Рудольф Герц

Опытная установка Герца состояла из передатчика и приёмника электромагнитных волн, находящихся на некотором расстоянии друг от друга.

В качестве излучателя электромагнитных волн применялась, например, индукционная катушка (рис. 34).

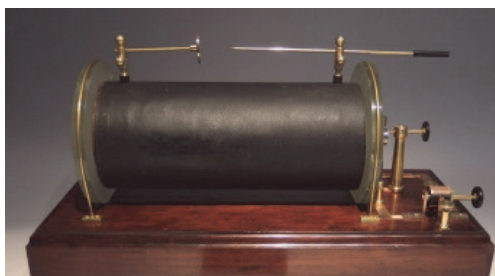


Рис. 34

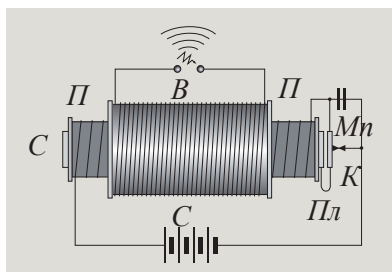


Рис. 35

Устройство катушки показано на рисунке 35. Катушка содержит:

- цилиндрический железный сердечник C ;
- первичную обмотку Π , намотанную толстым проводом и содержащую небольшое число витков;

- вторичной обмотки *B*, состоящую из очень большого числа витков, так что тонкий провод вторичной обмотки имел порой длину несколько километров;
- магнитный прерыватель *Mn*, который закреплён на упругой пластине *Пл*;
- контакты *K*, к которым подключён конденсатор.

Если к первичной обмотке подключить батарею гальванических элементов *B*, то по первичной обмотке через контакты *K* и магнитный прерыватель *Mn* проходит ток и первичная обмотка вместе с сердечником работает как электромагнит. К сердечнику притягивается подвижный магнитный прерыватель *Mn* и контакты *K* разрываются. Это ведёт к исчезновению тока в первичной обмотке и магнитного поля в сердечнике. Но переменное магнитное поле, пронизывающее вторичную обмотку *B*, в соответствии с явлением электромагнитной индукции порождает вихревое электрическое поле. В результате на концах вторичной обмотки возникает такое высокое напряжение, что проскакивает искра. Искра и является источником высокочастотных электромагнитных волн. Уменьшившееся магнитное поле сердечника «отпускает» магнитный прерыватель *Mn*. Упругая пластина *Пл* возвращает прерыватель в исходное положение, контакты замыкаются, и цикл повторяется.

Приёмник представлял собой разомкнутый проводник, в зазоре которого появлялись искры под воздействием «пришедшей» электромагнитной волны. Как писал Генрих Герц, «Для обнаружения электрической силы в пространстве использовались маленькие искры, создаваемые ею во вторичном проводнике. Иногда в качестве вторичного проводника применялся круговой проводник. ... Один конец проволоки оканчивался латунным шариком диаметром в несколько миллиметров, другой конец был заострён и мог быть установлен на очень маленьком расстоянии от латунного шарика... Конечно, здесь получались лишь искры длиной в несколько сотых долей миллиметра». На рисунке 36 показана конструкция приёмного устройства, использованного Герцем в заключительной серии опытов.

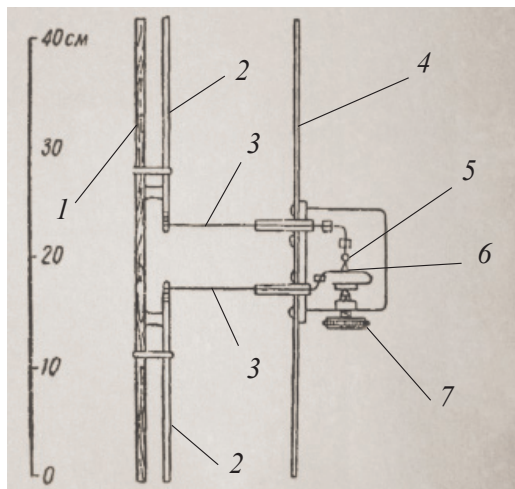


Рис. 36. Рисунок из статьи Г. Герца «О лучах электрической силы» (1889). Для пояснения к рисунку Герца добавлены цифровые указатели на отдельные элементы приёмника электромагнитных волн (пояснения также основаны на тексте статьи)

На рейке 1 были укреплены обе части вторичного провода 2. От внутренних концов обеих частей проводника 2 идут отводящие провода 3, заключённые в стеклянные трубки, проходящие через вогнутое зеркало 4. (С помощью отражения от металлического зеркала регистрируемые электромагнитные волны направлялись на вторичный проводник 2.) На конце верхнего провода находился маленький латунный шарик 5, к концу нижнего провода припаян кусочек часовой пружины и медное остриё 6. Между шариком 5 и остриём 6 и проскакивала искра, «сигнализирующая» о приходе электромагнитной волны. Размер искрового промежутка регулировался с помощью винта 7, нажимающего на пружину.

Первоначально Генрих Герц провёл опыты, в которых им были обнаружены электромагнитные волны, длина волны которых составляла 4–5 метров. Затем, как писал Герц, «Я заметил, что описанные мною ранее опыты легко могут быть произведены при колебаниях, происходящих примерно в 10 раз быстрее, т. е. при волнах в 10 раз более коротких, чем использованные ранее. ... Мне удалось получить отчётливые лучи электрической силы и произвести при их помощи все элементарные опыты, которые производят со световыми и тепловыми лучами».

Говоря о проведённых им экспериментах, Генрих Герц резюмировал: «*Основные гипотезы теории Максвелла противоречили обычным представлениям и не могли опереться на достоверные опыты как на доказательство. В этой естественной связи мы не можем охарактеризовать цель и результаты наших опытов лучше, чем если мы скажем:*

Целью этих опытов была проверка основных гипотез теории Фарадея – Максвелла, а результат опытов есть подтверждение основных гипотез этой теории».

Очень быстро опыты Генриха Герца получили (как и их автор) без преувеличения мировую известность, их повторяли и воспроизводили во всех мировых научных центрах. И буквально через несколько лет встал вопрос о практическом применении «лучей Герца». Так, известный российский учёный-физик и педагог, автор широко популярного в своё время пятитомного «Курса физики» в 1890 году Орест Данилович Хвольсон (1852 – 1934) в статье «Опыты Герца и их значение» писал: «Опыты Герца пока кабинетные; но что из них разовьётся дальше и не представляют ли они зародыш новых отделов электротехники, это решить в настоящее время невозможно»¹. Намного более определённо высказался в 1892 году известный английский химик и физик Уильям Крукс (1832–1919), будущий глава Лондонского королевского общества (1913–1915 годы). В статье «Некоторые возможности применения электричества» он пророчески писал: «Раскрывается поразительная возможность телеграфирования без проводов. ... В настоящее время экспериментаторы могут генерировать электрические волны любой длины, от нескольких футов и более, и поддерживать последовательность таких волн, излучающихся в пространстве во всех направлениях. ... Экспериментатор может также принять на расстоянии некоторые, если не все из этих лучей, на соответствующим образом сконструиро-

¹ Статья была опубликована в журнале «Электричество», посвящённом электротехнике и издаваемом не для учёных, а для практиков-электротехников. При этом редакция журнала добавила здесь примечание: «Например, телеграфия без проводов напоминает оптической».

ванный прибор, и посредством условных сигналов по коду Морзе¹ сообщения могут передаваться от одного оператора к другому. Поэтому то, что остаётся открыть, это, во-первых, более простые и более надёжные способы средства генерирования электрических лучей любой длины волны ...; во-вторых, более чувствительные приёмники, которые будут откликаться на длины волн в некотором определённом диапазоне. ... Любые два друга, живущих в пределах радиуса чувствительности их приёмных аппаратов, выбрав предварительно длину волны и настроив свои аппараты для взаимного приёма, могли бы, таким образом, общаться между собой столь долго и столь часто, как они захотели бы, регулируя импульсы для образования длинных и коротких интервалов по обычному коду Морзе. ... Это не просто грёзы мечтательного учёного. Всё необходимое, что нужно для реализации этого в повседневной жизни, находится в пределах возможностей открытия и всё это так разумно и так ясно в ходе тех исследований, которые деятельно ведутся сейчас в каждой европейской столице, что в любой день мы можем услышать о том, как из области рассуждений это перешло в область неоспоримых фактов».

Одной из проблем, на которую указал Крукс в своей статье, являлась проблема создания чувствительного и практичного приёмника электромагнитных волн. Ведь совершенно очевидно, что использованный Герцем лабораторный метод регистрации электромагнитных волн по проскакиванию искры в приёмном контуре, не мог быть широко применён вне стен физической лаборатории. Первый значительный шаг в решении этой проблемы был сделан французским изобретателем, физиком и инженером Эдуардом Бранли (1844–1940). Он обнаружил, что сопротивление металлических опилок очень сильно изменяется воздействием электромагнитных волн. «Я употреблял, – писал Бранли, – в качестве проводника тонкие металлические опилки железа, алюминия, сурьмы, кадмия, цинка, висмута и т. д. Опилки насыпаны в трубочку из стекла или эбонита и заключены между двумя металлическими стержнями». Трубочка включалась в электрическую цепь, содержащую гальванический элемент и чувствительный гальванометр – прибор для регистрации тока. При этом по цепи проходил очень маленький ток из-за огромного сопротивления «плохого» проводника – слоя металлических опилок. «Однако сопротивление резко уменьшается – что видно по сильному отклонению гальванометра – если вблизи контура произвести один или несколько электрических разрядов. ... Изменения сопротивления очень велики. Например, в указанных выше проводниках – от нескольких миллионов омов до 2000, или даже до 100». Для приведения «трубки Бранли» в первоначальное состояние с большим сопротивлением её нужно было встряхнуть, чтобы нарушить возникший электрический контакт между опилками.

В 1894 году английский физик и изобретатель Оливер Джозеф Лодж (1851–1940) в лекции, посвящённой памяти Генриха Герца, использовал «трубку Бранли» для регистрации электромагнитных сигналов. Лодж дал ей наименование «когерер» (от латинского *cohaerere* – «сцепляться», имея в виду сцепление опилок между собой под действием электромагнитных волн). «Мгновенная электрическая встряска действует так, если бы она была подобна току. Это

¹ Код (азбука) Морзе – представление букв алфавита, цифр, знаков препинания и других символов последовательностью сигналов: длинных («тире») и коротких («точка»).

как бы особый случай электрической сварки», отмечал учёный. Для восстановления чувствительности когерера использовался автоматический молоточек, приводимый в действие часовым механизмом.

Использование когерера в комбинации с гальванометром позволило Лоджу продемонстрировать отражение, преломление и другие свойства электромагнитных волн, осуществить приём электромагнитного сигнала от излучателя, находящегося на расстоянии в несколько десятков метров. Был продемонстрирован переносной приёмник электромагнитных волн – «небольшой, но содержащий всё необходимое детектор, который устанавливается и переносится с места на место ... кусочек проволоки длиной в несколько дюймов¹, воткнутый в него, служит для улавливания волн».

Значительные усовершенствования в схему опытов Лоджа были внесены русским физиком и электротехником Александром Степановичем Поповым (1859–1905/06). Для регистрации электромагнитного излучения в цепь когерера им был включён электрический звонок, вибрация которого одновременно разрушала возникшее под воздействием электромагнитной волны сцепление железных опилок в когерере. В статье, опубликованной в журнале Русского физико-химического общества в 1896 году, он приводит подробное описание сконструированного им прибора (рис. 37).

«Трубка с опилками подвешена горизонтально между зажимами *M* и *N* на лёгкой часовой пружине. ... Над трубкой расположен звонок, так чтобы при своём действии он мог давать лёгкие удары молоточком по середине трубки. ... Действует прибор следующим образом. Ток батареи в 4–5 вольт постоянно циркулирует от зажима *P* к платиновой пластинке *A*, далее через порошок, содержащийся в трубке, – к другой пластинке *B* и по обмотке электромагнита реле обратно к батарее. Сила этого тока недостаточна для притягивания якоря реле, но, если трубка *AB* подвергнется действию электрического колебания, то сопротивление мгновенно уменьшится и ток увеличится настолько, что якорь реле притянется. В этот момент цепь, идущая от батареи к звонку, прерванная в точке *C*, замкнётся, и звонок начнёт действовать, но тотчас же сотрясения трубки опять уменьшат её проводимость и реле разомкнёт цепь звонка. ... Чувствительность прибора можно охарактеризовать следующими опытами. ... В соединении с вертикальной проволокой длиной 2,5 м прибор отвечал на открытом воздухе колебаниям, произведённым большим герцевым вибратором ... на расстоянии 30 сажень²».

Молодой итальянский радиотехник и предприниматель, в дальнейшем лауреат Нобелевской пре-

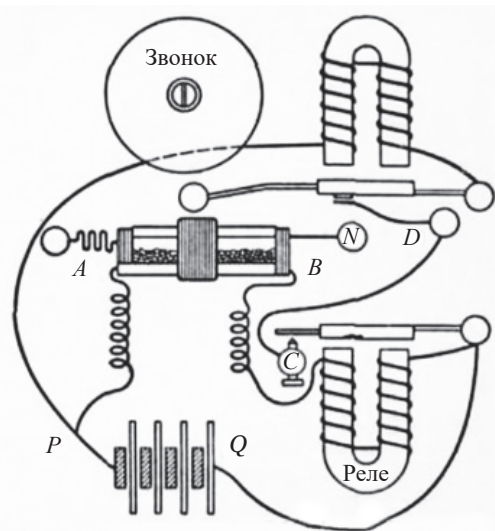


Рис. 37

¹ Один дюйм равен 2,54 см.

² Одна сажень равна 213 см.

мии по физике за 1909 год, Гульельмо Маркони (1874–1937) в сентябре 1896 года демонстрирует в Великобритании передачу радиogramм на расстояние 2,5 км. В качестве передатчика Маркони применил модифицированный генератор Герца, а в качестве приёмника – прибор, подобный прибору Попова, в котором Маркони использовал разработанный им самим вакуумный когерер, что повысило стабильность работы прибора и его чувствительность. В июля 1897 года Маркони получает патент «Улучшения в передаче электрических импульсов и сигналов, а также в устройстве, для этого предназначенном» и приступает к бурной деятельности по развитию радиосвязи, увеличению её дальности, открывает первый «завод беспроволочного телеграфа».

Так во второй половине XIX века был пройден путь от гениального предвидения Фарадеем существования электромагнитного поля и электромагнитных волн, разработки теории электромагнитного поля и теоретического открытия электромагнитных волн Максвеллом к экспериментальному подтверждению теории, к обнаружению излучения и первой регистрации электромагнитных волн Герцем, а далее к их практическому применению. В дальнейшем, как мы знаем, трудом многих учёных и изобретателей помимо радиотелеграфной связи появляются методы передачи с помощью радиоволн речи и музыки – радиотелефонная связь, а в дальнейшем телевидение, радиолокация, радиоастрономия и так далее. В результате, мы живем в радио-мире.

Ещё в 1931 году (по случаю столетия со дня рождения Максвелла) выдающийся английский учёный, лауреат Нобелевской премии по физике 1906 года Джозеф Джон Томсон (1856–1940) писал: «Открытие электрических волн имело не только научный интерес, хотя единственно им оно было вдохновлено. Подобно открытию электромагнитной индукции Фарадеем, оно имело глубокое влияние на цивилизацию. Оно дало в руки рабочий метод, который позволяет приблизить друг к другу обитателей всего земного шара на расстояние слышимости». В наше время эта мысль приобрела форму известного афоризма: «Уплотнённый силой электричества, земной шар теперь – не более чем деревня». Действительно, благодаря сегодняшним средствам связи нам оперативно, а то и в режиме онлайн, доступны новости из любой точки Земли.

Литература

1. Менцин, Ю. Майкл Фарадей и рождение физики поля / Ю. Менцин // Квант – 2012. – № 1. – С. 2–8.

2. Рытов, С. М. Вып. 1 : Из предистории радио [Текст] : Сборник оригинальных статей и материалов / Сост. проф. С. М. Рытов ; Под ред. акад. Л. И. Мандельштама. – М.; Л., 1948. – 472 с.

3. Золотинкина, Л. И., Лавренко, Ю. Е., Пестриков, В. М. Из истории изобретения и начального периода развития радиосвязи: Сб. док. и материалов / под ред. проф. В. Н. Ушакова. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2008. – 288 с.

КАК РАБОТАЕТ МИКРОВОЛНОВАЯ ПЕЧЬ

Такой бытовой прибор, как микроволновая печь (микроволновка) можно обнаружить, пожалуй, на каждой современной кухне. В микроволновке приготовление, подогрев или размораживание пищи происходит благодаря воздействию на продукты сверхвысокочастотного электромагнитного излучения (отсюда ещё одно название прибора – СВЧ-печь).

Историки техники говорят, что эффект разогрева продуктов под действием СВЧ-излучения был обнаружен в 1942 году одним из американских физиков, когда он увидел, что разогрелся его бутерброд, положенный на экспериментальную установку – источник излучения или (по другой версии) когда растаял шоколад, который был у него в кармане. В 1945 году был получен патент на использование СВЧ-излучения для приготовления пищи, в 1947 году появились первые приборы (высотой в человеческий рост и массой 340 кг). В 1962 году одна из японских фирм выпустила первую серийную микроволновую печь, в 1966 году в ней появился вращающийся столик; в 1979 году впервые была применена современная система управления прибором, в 1999 году разработана первая микроволновая печь с выходом в Интернет.

Перечислим основные элементы микроволновой печи (рис. 38):

- электровакуумный прибор *магнетрон 1*, в котором вырабатывается СВЧ-излучение;
- блок *питания 2*, который подаёт на магнетрон напряжение 4000 В;
- *антенна 3*, которая излучает электромагнитные волны, созданные магнетроном, в волновод;
- *волновод 4* по которому СВЧ-излучение от магнетрона поступает в рабочую камеру;
- *металлическая рабочая камера 5* микроволновой печи;
- *панель управления 6* микроволновой печию;
- *вращающийся столик 7*;
- *дверца 8* микроволновой печи.

Как происходит нагрев продуктов в микроволновой печи? Практически во всех продуктах содержится вода. Молекулы воды (H_2O), находящейся в жидком состоянии, образно можно

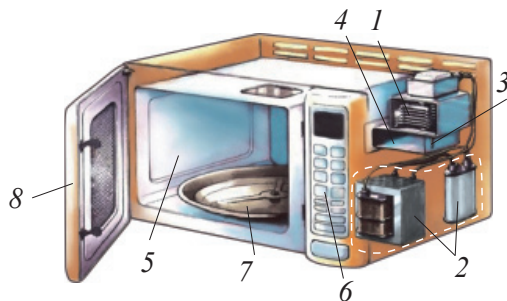


Рис. 38

представить как заряженные «гантельки» (рис. 39). В электрическом поле эти молекулы-«гантельки» ориентируются (поворачиваются), преимущественно «выстраиваясь» по направлению силовых линий электрического поля. Если электрическое поле переменное и оно периодически изменяет своё направление на противоположное, то молекулы вынуждены постоянно переориентироваться. В микроволновой печи используется СВЧ-излучение частотой 2450 МГц. Это означает, что молекулы поворачиваются 4 900 000 000 раз в секунду (дважды за период).

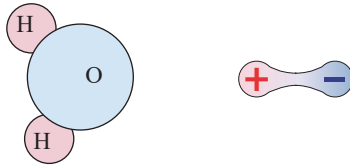


Рис. 39

При поворотах молекулы воды сталкиваются с другими молекулами, увеличивая тем самым энергию их теплового движения.



Как температура вещества зависит от средней энергии теплового движения молекул вещества?

По этой причине температура продуктов под воздействием электромагнитного излучения повышается и пища разогревается в микроволновой печи.

Рассмотрим, как устроен источник СВЧ-излучения – магнетрон (рис. 40, а–в).

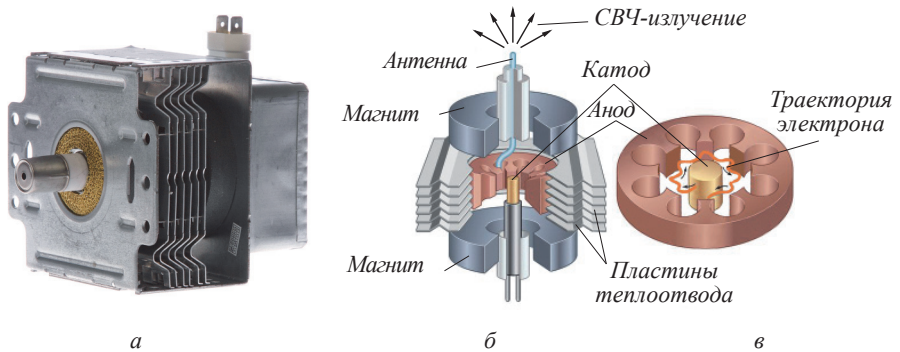


Рис. 40

а – общий вид магнетрона микроволновой печи,
 б – схема внутреннего устройства магнетрона,
 в – траектория электронов в магнетроне

Магнетрон – электровакуумный прибор. По металлическому катоду (отрицательно заряженный электрод) пропускают ток до 10 А; катод раскаляется до высокой температуры и с поверхности металлического катода испаряются электроны (процесс термоэлектронной эмиссии). Электроны попадают в область между катодом и анодом, в которой создано электрическое поле «катод – анод» и магнитное поле (источником магнитного поля являются постоянные магниты или электромагнит). В результате силового действия электрического

и магнитного поля электроны в пространстве между катодом и анодом движутся ускоренно по криволинейной траектории. Как известно, ускоренно движущиеся заряженные частицы излучают электромагнитные волны. В результате, магнетрон излучает электромагнитные волны.



Частота СВЧ-излучения магнетрона 2450 МГц. Какова длина волны электромагнитных волн, излучаемых антенной магнетрона?

Созданные магнетроном и излучённые его антенной микроволны по волноводу – металлическому каналу, стенки которого отражают электромагнитные волны, – поступают в рабочую камеру микроволновой печи. Стенки камеры тоже выполнены из металла, так как они также должны отражать электромагнитные волны, которые, в итоге, попадают на продукты, помещённые в печь. Электромагнитные волны, генерируемые магнетроном, проникают в продукты на глубину 1,5–2,5 см от поверхности; нагревание «глубинных» слоёв продуктов осуществляется за счёт теплопроводности.

Чтобы микроволновое излучение попадало на разные участки продуктов, используют вращающийся столик, приводимый в движение электромотором.

Ещё один немаловажный элемент микроволновой печи – это дверца. Дверца плотно прилегает к рабочей камере микроволновой печи, «не выпуская» СВЧ-излучение за пределы рабочего объёма. В дверцу вмонтированы прозрачные стёкла, между которыми обязательно помещают металлическую пластину с мелкими отверстиями. Металл отражает излучение в рабочий объём микроволновой печи, а отверстия делают возможным наблюдение за процессом приготовления пищи.

После того, как мы выяснили, каков принцип действия микроволновой печи, вам, надеюсь, будут понятны физические причины тех запретов и рекомендаций, что связаны с её работой:

– Запрещено включать пустую микроволновую печь. Действительно, СВЧ-излучение, вырабатываемое магнетроном, ничем не будет поглощаться. Это приведёт к тому, что после многократного отражения от стенок рабочей камеры произойдёт нагрев самого прибора и он выйдет из строя. Следовательно, если в микроволновке разогревается минимальное количество пищи, то необходимо поставить вовнутрь камеры стакан с водой – дополнительный «поглотитель» энергии излучения.

– Если, например, нужно приготовить в микроволновке крупный кусок мяса, то лучше не включать печь на полную мощность, так как медленный процесс теплопроводности не успеет «донести» энергию до внутренних слоёв продукта, тогда как в «поверхностном» слое за счёт интенсивного поглощения СВЧ-излучения продукт может подгореть. (Так как магнетрон не умеет работать «вполнакала», то регулировка мощности микроволновой печи достигается периодическим автоматическим выключением магнетрона и прекращением генерации СВЧ-излучения.)

– Не следует помещать в микроволновку посуду с «золотой каёмочкой» (тем более полностью металлическую посуду). В металле под воздействием электромагнитного излучения возникнут значительные токи и будет выделяться большое количество теплоты, что может привести к разрушению посуды.



Почему в микроволновой печи нельзя нагревать жидкость в плотно закрытых ёмкостях? Почему не следует сильно разогревать сосиски, обтянутые полиэтиленовой плёнкой (если перед разогревом не проткнуть каждую сосиску вилкой)?

Литература

1. Андрюшечкин, С.М. Физика. 10 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень / С.М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2013. – 304 с. – С. 183–184.
2. Коляда, В. Прирученные невидимки. Всё о микроволновых печах / В. Коляда // Наука и жизнь. – 2004. – № 10. – С. 136–142.

РАДИОАСТРОНОМИЯ – НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА МИР

Современные астрономы ведут изучение Вселенной во всех диапазонах электромагнитного излучения – в областях инфракрасного (теплого), видимого, ультрафиолетового, рентгеновского, гамма-излучения. Не является исключением и диапазон радиоволн. В радиоастрономии изучают астрономические объекты, исследуя их излучение в диапазоне длин волн от 0,1 мм до 1000 м.

Наука радиоастрономия появилась сравнительно недавно. Основателем радиоастрономии является американский радиоинженер Карл Янский (1905–1950). В тридцатых-сороковых годах XX века он изучал причины возникновения радиопомех, мешающих работе радиотелефонной связи. Янский обнаружил, что сконструированная им система антенн на длине волны 14,6 м регистрирует радиосумм космического происхождения, повторяющийся каждые сутки, когда антенны ориентированы на центральную часть Млечного пути.

Во время работы Янского не вызвали широкого интереса ни среди астрономов, ни среди радиофизиков. Это было обусловлено, в первую очередь, низкой чувствительностью радиоаппаратуры того времени. Мощным толчком к бурному развитию радиоастрономии стала Вторая мировая война, в ходе которой интенсивно развивались средства радиолокации и радиолокаторы были приняты на вооружение всех армий. Это позволило в 1946 году венгерским и американским радиофизикам осуществить радиолокацию Луны. В 1958 году американские учёные уловили радиоэхо от Солнца, а в 1961 году советскими учёными была проведена уверенная радиолокация ближайшей к Земле планеты – Венеры. В результате было уточнено значение астрономической единицы (среднего расстояния от Земли до Солнца).

В 1965 году американские физики Арно Пензиас и Роберт Вудроу Вильсон, используя специальную антенну и чувствительное радиоприёмное устройство, обнаружили так называемое реликтовое излучение, возникшее на первоначальном этапе образования нашей Вселенной и до настоящего времени «путешествующее» по ней. Максимум этого излучения соответствует длине волны 1,9 мм. Открытие реликтового излучения (за это открытие Пензиас и Вильсон были удостоены Нобелевской премии по физике 1978 года) стало убедительным подтверждением разработанной физиками-теоретиками теории происхождения нашей Вселенной. Таким образом, во второй половине XX века радиоастрономия превратилась в полноценную часть астрономии, приносящей важные научные результаты.

Дальнейшее развитие радиоастрономии во многом определяется прогрессом основных инструментальных средств этой науки – радиотелескопов. Два основных элемента радиотелескопа – это антенное устройство и очень чувствительный приёмник радиоволн. О чувствительности радиоприёмных устройств, используемых в радиоастрономии, можно судить по одному примеру, который любят приводить в научно-популярных статьях, посвящённых этой теме: «Участники одной из конференций по радиоастрономии, чтобы попасть в зал заседаний, должны были проходить мимо стола, на котором лежали листы белой бумаги. Если, проходя мимо, они брали и переворачивали лист, то на обороте читали: “Подняв этот лист и перевернув его, вы потратили больше энергии, чем приняли все радиотелескопы Земли за всю историю их существования”».

Одним из крупнейших радиотелескопов является американский однопольный радиотелескоп, расположенный на острове Пуэрто-Рико в Карибском море. Антенна телескопа диаметром более 300 м смонтировано из 38778 алюминиевых пластин (размером примерно 1×2 м) так что её площадь более площади десяти футбольных полей (рис. 41). Телескоп работает с 1963 года, и за это время на нём был сделан целый ряд крупных астрономических открытий, например, впервые были обнаружены планеты за пределами Солнечной системы.



Рис. 41. Радиотелескоп Аресибо (Пуэрто-Рико). Приёмное устройство является подвижным и подвешено на тросах к трём башням. Наведение телескопа на заданную точку небесной сферы осуществляется путём перемещения приёмного устройства

Достойное место среди крупнейших радиотелескопов мира занимает радиотелескоп РАТАН-600 (от *радиоастрономический телескоп Академии наук*) с зеркалом диаметром около 600 метров. Радиотелескоп расположен в Карачаево-Черкесии, недалеко от станции Зеленчукская, на высоте 970 метров над уровнем моря. Регулярные научные наблюдения ведутся с 1975 года; телескоп позволяет проводить исследование как близких объектов: Солнца, планет и спутников, так и крайне удалённых: радиогалактик, квазаров¹.

¹ Квазар (англ. *quasar*) — астрономический объект, мощный источник излучения во Вселенной. Английский термин *quasar* образован от слов *quasi-stellar* («квазизвёздный» или «похожий на звезду») и *radiosource* («радиоисточник») и дословно означает «похожий на звезду радиоисточник».

Основу телескопа составляют два отражателя (круговой и плоский) и пять подвижных наблюдательных кабин (рис. 42). Основные параметры радиотелескопа таковы: диаметр главного зеркала – 576 м, число элементов антенны – 895, размер элемента – $11,4 \times 2$ м, геометрическая площадь антенны – 12000 м^2 . Каждая из панелей кругового отражателя может поворачиваться вокруг трёх осей, занимая необходимое положение в пространстве; панели плоского отражателя поворачиваются вокруг горизонтальной оси. (Управление поворотом панелей производится в автоматическом режиме.)



Рис. 42. Общая панорама РАТАН-600

При работе поток радиоизлучения, попавший на плоский отражатель, направляется в сторону кругового отражателя. Отразившись от кругового отражателя, радиоволна фокусируется на приёмном устройстве, который может передвигаться по рельсам. Установкой приёмного устройства в заданную позицию и перестройкой зеркала можно настраивать радиотелескоп на приём излучения из нужной точки неба. Также возможен режим слежения за источником излучения; при этом приёмное устройство непрерывно движется по рельсам, а также производится поворот панелей зеркала.

Сравнительно недавно, в сентябре 2016 года начались наблюдения на китайском радиотелескопе «Небесное око». Конструктивно он напоминает радиотелескоп Аресибо: приёмная антенна-рефлектор диаметром 500 м выполнена из 4450 треугольных алюминиевых панелей, каждая размером 11 м. Отражённые радиоволны попадают в приёмник, который с помощью шести опорных мачт подвешен на высоте 140 м над антенной (рис. 43). Радиотелескоп позволяет учёным изучать формирование и эволюцию галактик, решать другие научные задачи.



Рис. 43. Крупнейший радиотелескоп (Китай)

Когда астрономы наблюдают звёзды, расположенные на малом угловом расстоянии ϕ друг от друга (рис. 57, а), то им не всегда удаётся различить изображения этих звёзд по отдельности, изображения звёзд могут сливаться. Если использовать телескоп с большим диаметром объектива, то разрешающая способность телескопа повысится. Это даст возможность различить по отдельности близко расположенные звёздные объекты (рис. 57, б). Таким образом, увеличение диаметра объектива телескопа позволяет, во-первых, увидеть «слабые звёзды» за счёт увеличения количества энергии, собираемой «большим глазом», а во-вторых, повышает «угловые возможности» телескопа.

Аналогичным образом обстоят дела и при радиоастрономических наблюдениях. Для измерения тонких угловых подробностей в радиоизлучении неба необходимо увеличить размер радиотелескопа. Но возможен и другой вариант разрешения проблемы: необходимо взять две антенны, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга, и соединить их общей кабельной линией связи. Это позволяет вести обработку сигналов, поступающих в антенны от одного и того же источника радиосигнала. Так работает радиоинтерферометр – инструмент радиоастрономов, позволяющий вести наблюдения с высоким угловым расширением.

На таком принципе работает *Atacama Large Millimeter Array* (ALMA; «Атакамская большая решётка миллиметрового диапазона») – комплекс радиотелескопов, расположенный в чилийской пустыне Атакама на высоте 5000 м над уровнем моря. Выбор места расположения радиотелескопов (большая высота и низкая влажность воздуха) обусловлен малым уровнем окружающих радишумов и уменьшением затухания принимаемых радиосигналов в атмосфере Земли. Комплекс имеет 66 антенн (54 антенны диаметром 12 м, и 12 антенн диаметром 7 м), объединённых в единый астрономический радиоинтерферометр (рис. 44). Для математической обработки данных со всех антенн установлен специализированный суперкомпьютер.



Рис. 44. Комплекс радиотелескопов (Чили). С его помощью планируется получить новые данные, объясняющие механизмы эволюции Вселенной

Чем больше расстояние между антеннами, тем выше угловое разрешение радиоинтерферометра. Но при увеличении расстояния всё сложнее становится задача создания высококачественной линии связи между отдельными антеннами радиоинтерферометра. Для решения этой проблемы было предложено отказаться от линии связи, а вести запись и накопление электрических сигналов от отдельных антенн и затем проводить их компьютерное суммирование.

С июля 2011 года по январь 2019 года на этом принципе был реализован международный космический проект «Радиоастрон» с ведущим российским участием. Одной из антенн радиоинтерферометра был космический радиотелескоп, смонтированный на российском космическом аппарате «Спектр-Р» (рис. 45). Космический аппарат был выведен на орбиту спутника Земли высотой до 350 000 км (это расстояние сравнимо с расстоянием Земля – Луна). Антенна радиотелескопа при выведении аппарата на орбиту находилась в сложенном (подобно зонту) состоянии и была раскрыта в «цветок» диаметром

десять метров из 27 «лепестков» непосредственно на орбите. Роль второй антенны играла сеть наземных радиотелескопов – два стометровых радиотелескопа, в США и Германии, а также известная радиообсерватория Аресибо (Пуэрто-Рико).

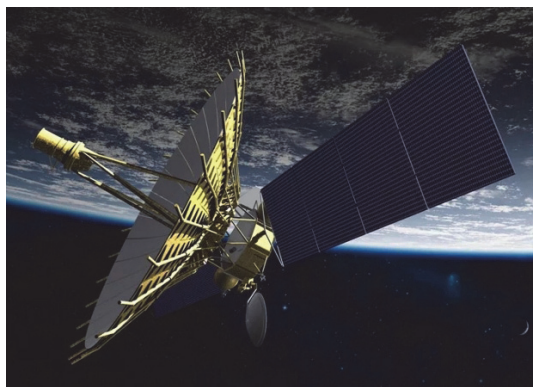


Рис. 45. Радиоастрон – крупнейший космический радиотелескоп

Созданный таким образом наземно-космический интерферометр установил рекорд углового разрешения в астрономии – 8 угловых микросекунд (примерно под таким углом, при наблюдении с Земли, будет видна рублёвая монета, лежащая на поверхности Луны). Это позволило решить целый ряд сложных научных задач современной астрономии.

Литература

1. Энциклопедия для детей. Том 8. Астрономия. – 2-е изд., испр. / Гл. ред. М. Аксёнова, метод. ред. В. Володин, А. Элеович. – М. : Аванта +, 2003. – 688 с. С. 337, 338, 340, 342–351. (Радиоастрономия. С. 339. Радиотелескопы. С. 241. Радиоинтерферометры.)
2. Карандашов Н. То, что мы делаем, – это впервые // Наука и жизнь. – 2017. – № 11. – С. 14–19.
3. Прохоров, М., Рудницкий, Г. Самый зоркий телескоп // Вокруг света. – 2006. – № 12. – С. 34–35.

ФИЗИКА РАДУГИ

Каждый из нас наблюдал такое красивое природное явление как радуга (рис. 46). Некоторым повезло больше и им довелось наблюдать двойную радугу (рис. 47).



Рис. 46



Рис. 47

Мы знаем, что радуга видна, когда наблюдатель рассматривает завесу дождя, освещаемую солнцем, находящимся за спиной наблюдателя.

Большинство из нас осведомлено о том, что радуга возникает в результате преломления солнечного света в каплях дождя благодаря явлению дисперсии света (было открыто Ньютоном в 1666 году).

В научном труде «Оптика, или Трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света» Ньютон описал целую серию проведённых им опытов, в результате которых было открыто явление дисперсии: «Белый свет состоит из лучей различной преломляемости» и выяснено, что проходя, например, через стеклянную призму, красные лучи преломляются менее всего, а фиолетовые лучи обладают наибольшей «степенью преломляемости» (рис. 48).

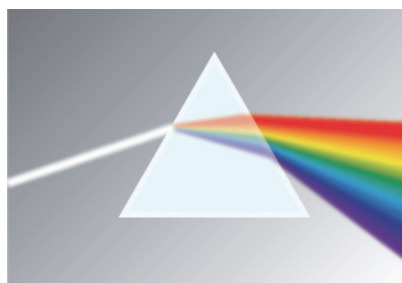


Рис. 48

Рассмотрим ход светового луча в капле воды (рис. 49).

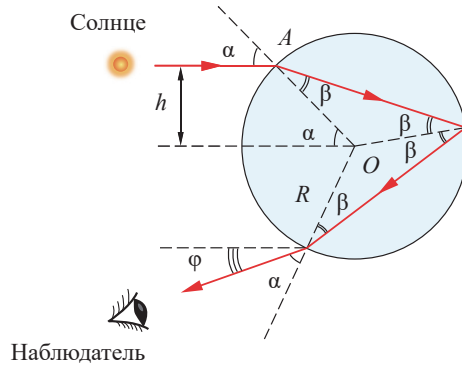


Рис. 49. Ход светового луча в капле воды. На рисунке не указаны луч, отражённый в точке A , луч, преломлённый в точке B , и луч, отражённый в точке C . Эти лучи не участвуют в образовании радуги

Световой луч на границе «воздух – вода» в точке A преломляется и, пройдя через каплю на границе «вода – воздух», отражается (точка B). Пройдя вновь через каплю воды, световой луч преломляется (точка C) и направляется к наблюдателю.

Выясним, под каким углом φ к первоначальному направлению возвращается световой луч?

Пусть в точке A угол падения светового луча равен α (рис. 49). Угол падения α зависит от того, на каком «прицельном расстоянии» h от линии, проходящей через центр капли и параллельной падающему лучу, находится точка A – точка падения светового луча. Если радиус капли равен R , то $0 \leq h \leq R$.

Введём «прицельный параметр» $k = \frac{h}{R}$. Очевидно, что

$$\alpha = 0^\circ \text{ при } k = 0$$

и

$$\alpha = 90^\circ \text{ при } k = 1.$$

Пусть угол преломления β светового луча в точке A равен β . Значение угла преломления β можно рассчитать, если воспользоваться формулой закона преломления света. В точке B угол падения света равен также β (это очевидно, треугольник OAB – равнобедренный). В соответствии с законом отражения световой луч отразится в точке B под углом β ; в точке C угол падения составит β , а угол преломления α .

В равнобедренных треугольниках OAB и OBC угол AOB и угол BOC , очевидно, равны

$$180^\circ - 2\beta.$$

Тогда угол γ составляет

$$\gamma = 360^\circ - \alpha - 2(180^\circ - 2\beta).$$

$$\gamma = 4\beta - \alpha. \quad (1)$$

Но угол γ равен углу $\varphi + \alpha$ (докажите это самостоятельно):

$$\gamma = \varphi + \alpha. \quad (2)$$

Из соотношений (1) и (2) имеем

$$\varphi = 4\beta - 2\alpha.$$

Проанализируем полученный результат. Угол «возврата» светового луча φ зависит от угла падения α (который определяется значением «прицельного»

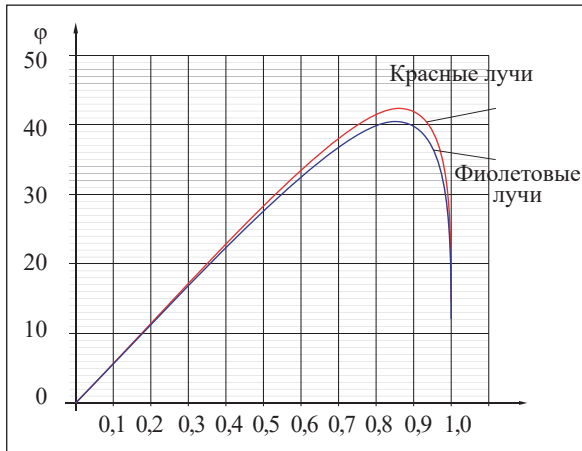


Рис. 50

– красных и фиолетовых – лучей). Из графика наглядно видно, что большинство красных световых лучей возвращается к наблюдателю под углом $\varphi \approx 42^\circ$, а большинство фиолетовых лучей – под углом $\varphi \approx 40^\circ$.

Вот как об этом писал сам Ньютон: «*Лучи, различающиеся по преломляемости, будут иметь различные пределы углов выхода и, следовательно, соответственно разным степеням преломляемости, будут выходить обильнее всего под различными углами и, разделяясь друг от друга, будут являться в их собственных цветах.*».

Представим, что солнце за нашей спиной находится невысоко над горизонтом и световые лучи падают практически перпендикулярно на отвесную завесу

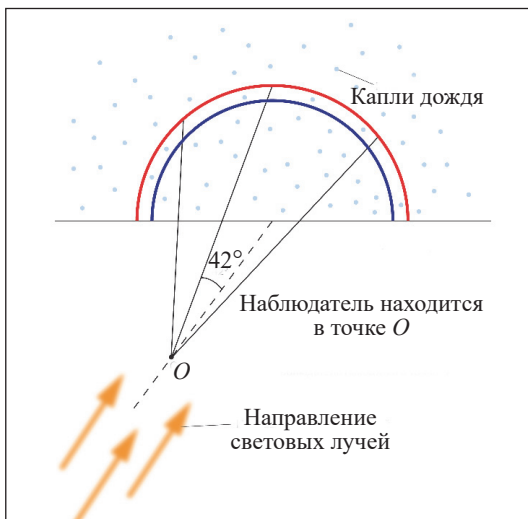


Рис. 51

дождевых капель. Тогда красные световые лучи после двух преломлений и одного отражения в дождевой капле будут возвращаться к нам преимущественно под углом 42° . Образно говоря, наблюдатель будет являться вершиной конуса, ось которого направлена по линии, соединяющей наблюдателя с солнцем, а красная дуга – это часть находящейся над линией горизонта окружности основания конуса (рис. 51).

На рисунке 50 приведён график зависимости угла φ , под которым солнечные лучи возвращаются к наблюдателю от значения «прицельного» параметра k (для крайних

– красных и фиолетовых – лучей). Из графика наглядно видно, что большинство красных световых лучей возвращается к наблюдателю под углом $\varphi \approx 42^\circ$, а большинство фиолетовых лучей – под углом $\varphi \approx 40^\circ$.

Фиолетовая дуга будет располагаться ниже, под красной дугой, и будет иметь угол 40° .

Остальные световые лучи (оранжевые, жёлтые, зелёные, голубые, синие) будут находиться между красными и фиолетовыми. Так возникнет радуга.

Если солнце находится на некоторой высоте над горизонтом, то для наблюдателя уже меньшая часть «радужной дуги» будет находиться над горизонтом и будет ему видна. (Если же высота солнца над горизонтом больше 42° , то радуга полностью «уйдёт» под линию горизонта и не будет видна наблюдателю.)

Теперь осталось выяснить, как возникает двойная радуга. Рассмотрим ход светового луча, падающего на каплю воды с «отрицательным прицельным расстоянием» h (рис. 52). Такой луч «возвращается» к наблюдателю, испытав в капле воды два преломления и два отражения. Благодаря явлению дисперсии угол «возврата» φ такого светового луча также будет различен для красных и фиолетовых лучей.

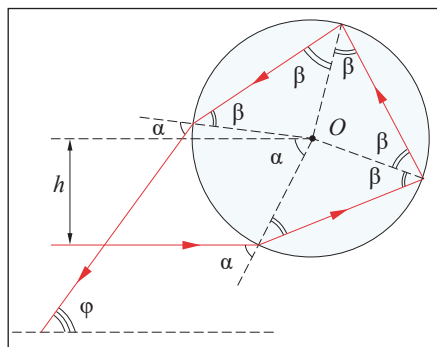


Рис. 52

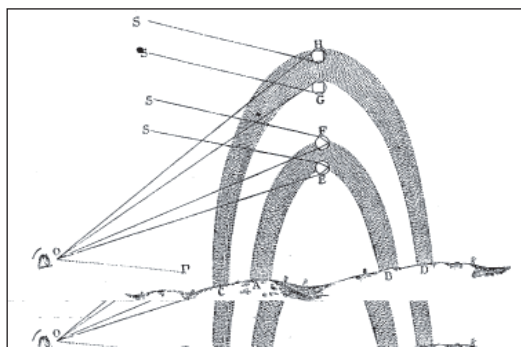


Рис. 53

В заключение вновь предоставим слово Ньютону: «Таким образом получаются две цветные радуги: одна – внутренняя и более сильная при одном отражении в капле, другая – внешняя, более слабая при двух отражениях, ибо свет слабеет при каждом отражении. Эти цвета будут расположены в противоположном порядке друг к другу, и красный цвет обеих радуг будет граничить с пространством между ними».



На рисунке 53 воспроизведён рисунок из научного труда Ньютона «Оптика, или Трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света» (точка O – глаз наблюдателя, OP – линия, проведённая параллельно солнечным лучам). Что, по вашему мнению, поясняет Ньютон данным рисунком? Сколько градусов составляют углы POE и POF ?

Литература

1. Тарасов, Л.В. Физика в природе: Кн. для учащихся / Л.В. Тарасов. – М. : Просвещение, 1988. – 351 с. – С. 115–130.
2. Андрюшечкин, С.М. Физика. 11 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций (базовый уровень) / С.М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2013. – 336 с. – С. 137–139.

НАЗЕМНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ

Одной из древнейших наук на Земле, как известно, является астрономия. Уже первобытные земледельцы по расположению звёзд и созвездий на ночном небосклоне определяли время начала сезона полевых работ, а кочевые племена ориентировались по Солнцу и по звёздам при движении по степным просторам, где отсутствовали другие ориентиры.

Новый этап в развитии астрономии и превращение её в современную науку связан с 1610 годом. Именно в январе 1610 года великий итальянский учёный Галилео Галилей (1564–1642) приступил к астрономическим наблюдениям с использованием первого телескопа. Это позволило ему совершить ряд выдающихся астрономических открытий. Среди них и открытие четырёх спутников планеты Юпитер, которые вращаются вокруг Юпитера, подобно тому, как планеты вращаются вокруг Солнца. (Не забывайте, что времена Галилея – это эпоха борьбы за утверждение так называемой гелиоцентрической системы мира, основное положение которой – планеты движутся вокруг Солнца – для нас является очевидным.)

Телескоп Галилея – линзовый телескоп, в котором имеются объектив и окуляр. В качестве объектива Галилей использовал выпуклую линзу, в качестве окуляра – вогнутую линзу (рис. 54).

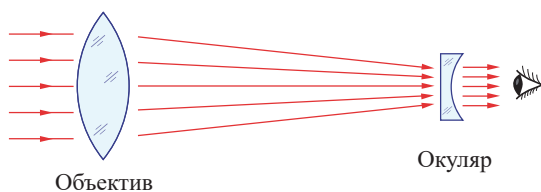


Рис. 54. Ход лучей в телескопе Галилея

Через несколько лет знаменитый немецкий астроном Иоганн Кеплер предложил использовать в качестве окуляра собирающую линзу (рис. 55).

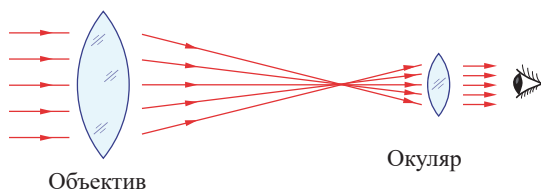


Рис. 55. Ход лучей в телескопе Кеплера

Линзовые телескопы системы Галилея, Кеплера и им подобные оптические схемы получили название *телескопов-рефракторов*.

Рефракторы имели существенный недостаток: так как в этих телескопах преломление света происходит в линзах, то из-за явления дисперсии красные, оранжевые, жёлтые, зелёные, голубые, синие, фиолетовые лучи, составляющие белый свет, преломляются по-разному и изображение, даваемое телескопом, получается окрашенным и искажённым. Как отмечал Ньютон, «усовершенствованию телескопов препятствует различная преломляемость лучей света. ... Если лучи всех сортов, идущие от некоторой светящейся точки, расположенной на оси выпуклой линзы, сходятся вследствие преломления линзы в точках, не слишком удалённых от линзы, то фокус наиболее преломляемых лучей будет ближе к линзе, чем фокус наименее преломляемых лучей».

В 1668 году Ньютон изготовил телескоп принципиально иной конструкции – *телескоп-рефлектор*. В телескопе-рефлекторе роль линзы-объектива играет вогнутое зеркало, фокусирующее падающий на него свет (рис. 56). «Видя поэтому, что улучшение телескопов данных длин с помощью преломлений безнадёжно, я придумал в своё время отражательную перспективу, применяя вместо объективного стекла вогнутый металл», писал Ньютон.

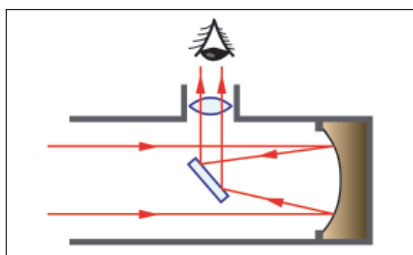


Рис. 56. Ход лучей в телескопе Ньютона

В дальнейшем учёные-оптики и конструкторы телескопов научились изготавливать объективы из нескольких линз из разного сорта стёкол с различной величиной дисперсии и подобранных так, чтобы большей частью компенсировались искажения, вносимые линзами. Таким образом, великий Ньютон оказался неправ, и усовершенствование линзовых телескопов оказалось делом не безнадёжным. Но, несмотря на это, телескопы-рефракторы, в итоге всё равно «проиграли» телескопам-рефлекторам.

Дело в том, что важнейшей характеристикой телескопа является диаметр его объектива. Технически крайне сложно изготавливать линзы размером более одного метра для телескопов-рефракторов. В мире имеется единственный телескоп с линзой-объективом диаметром 102 см, изготовленный ещё в 1897 году. В то время как число телескопов-рефлекторов с диаметром главного зеркала от 5 до 10 м приближается уже к двум десяткам.

Почему же именно диаметр объектива телескопа определяет качество этого астрономического инструмента?

Во-первых, чем больше диаметр объектива, тем с большей площади фокусируется (собирается) световая энергия, которая направляется, в итоге, через окуляр телескопа на сетчатку глаза астронома-наблюдателя или на регистрирующий светочувствительный элемент телескопа. Это даёт возможность с по-

мощью телескопа наблюдать более тусклые звёзды, чем это возможно невооружённым глазом.

Во-вторых, волновая природа света накладывает определённые ограничения на так называемую разрешающую способность телескопа. Когда световая волна падает на отверстие – объектив телескопа, то за счёт явления дифракции света¹ изображение любой светящейся точки, даваемое телескопом на сетчатке глаза наблюдателя или на регистрирующем светочувствительном элементе, будет являться не точкой, а системой светлых и тёмных колец. Пусть, например, в телескоп наблюдают звёзды, расположенные на малом угловом расстоянии друг от друга (рис 57, а). Из-за явления дифракции света на отверстии – объективе телескопа – дифракционные изображения звёзд могут слиться. В таком случае невозможно отличить эти звёзды по отдельности. Если же использовать телескоп с большим диаметром, то разрешающая способность повышается. Тогда это даст возможность различить близко расположенные звёздные объекты (рис. 57, б).

Увеличение диаметра главного зеркала телескопа, сопутствующее этому увеличению возрастание массы зеркала усложняет конструкцию телескопа, превращая современный оптический телескоп в уникальный научный прибор. Так, например, сложности создания огромного зеркала телескопа диаметром более 6 метров подтолкнули конструкторов к идее создания сегментных (составных) зеркал. При этом с помощью специальной системы управления и соответствующих датчиков появилась возможность смещать отдельные сегменты зеркала, изменяя при необходимости оптические характеристики отражающей зеркальной поверхности телескопа.



Рис. 57

Ещё одной проблемой, с которой сталкиваются астрономы при проведении наземных наблюдений, является земная атмосфера. Происходящие в атмосфере сдвиги воздушных масс приводят к искажению изображения космических объектов. Можно исключить влияние атмосферы, если использовать космический телескоп, как например это впервые было сделано в 1990 году, когда американским космическим агентством НАСА совместно с Европейским космическим агентством на околоземную орбиту была выведена автоматическая обсерватория – космический телескоп «Хаббл». Высокая стоимость изготовле-

¹ Дифракция света – отклонение света от прямолинейного распространения в случае прохождения света мимо края предмета или сквозь отверстие.

ния и эксплуатации космических телескопов привела астрономов к решению разработать методы компенсации влияния атмосферы. Для этого свет от мощных лазеров направляют в атмосферу так, чтобы на высоте 10 или 90 км в верхних слоях атмосферы возникла светящаяся точка – искусственная «звезда». Компьютер контролирует изображение этой «звезды», даваемое телескопом и как только изображение «звезды» из-за движения воздушных масс изменяется, тут же выдаётся команда на датчики, управляющие сегментами зеркала телескопа, чтобы изменить оптические свойства зеркала для компенсации искажения «картинки» фиксируемой телескопом.

Расскажем о некоторых крупных наземных телескопах.

БТА («*Большой телескоп азимутальный*»). Первый в мире телескоп, на котором был преодолён 6-метровый рубеж (диаметр главного зеркала телескопа составляет 605 см). Установлен в Специальной астрофизической обсерватории на высоте 2070 м над уровнем моря в Зеленчукском районе Карачаево-Черкесской Республики Российской Федерации (рис. 58, а, б).



а

б

Рис. 58

а – Общий вид БТА (высота башни – 56 м от грунта, диаметр башни – 53 м),
б – Внутреннее помещение и вид на конструкцию телескопа

Астрономы приступили к наблюдениям на БТА в 1975 году, через пятнадцать лет после принятия правительством страны решения о создании телескопа. В таком продолжительном сроке создания телескопа, учитывая его уникальность, нет ничего необычного. Несколько лет ушло на конструирование и строительство специального заводского корпуса, где производилась отливка первоначальной 70-тонной заготовки стекла, из которой и было изготовлено 6-метровое зеркало телескопа-рефлектора. После обработки, придания необходимой формы поверхности монолитного зеркала, сверления технологических отверстий с тыльной стороны зеркала для его крепления в оправе окончательная масса зеркала составила 42 тонны. Финальным этапом являлось нанесение отражающего алюминиевого покрытия зеркала толщиной в 100 нанометров (покрытие раз в несколько лет обновляется). В итоге, создание зеркала продолжалось почти 10 лет. Общая масса телескопа – около 850 тонн; масса подвижной части телескопа – около 650 тонн. С 1975 по 1993 год БТА являлся самым большим телескопом в мире.

Телескопы Кека («*Keck Telescopes*»). Телескопы находятся на одном из островов Гавайского архипелага (США) на вершине горы на высоте 4145 м над уровнем моря. Два телескопа расположены на расстоянии 85 м друг от друга; строительство первого телескопа было завершено в 1993 году, второго – в 1996 году (рис. 59, а–в).



Рис. 59

- a* – Купола телескопов «Кек I» и «Кек II»,
б – Ночное небо и лазерный луч, используемый в системе оптики телескопа для устранения влияния атмосферных искажений,
в – Сегментированное основное зеркало телескопа «Кек II»

Масса каждого из телескопов 300 тонн. Диаметр зеркал телескопов около 10 м. Каждое зеркало составлено из 36 шестиугольных сегментов (толщина сегмента 8 см, масса 0,5 тонны). Сегменты изготовлены из стеклокерамики с очень низким коэффициентом теплового расширения (почему это важно?) и покрыты тонким слоем алюминия. Во время проведения астрономических наблюдений система датчиков и регулируемых опор, управляемая компьютером, регулирует положение каждого сегмента относительно соседних с погрешностью в десятки тысяч (!) меньше толщины человеческого волоса, осуществляя контроль дважды в секунду. Телескопы оборудованы лазерной «звездой» для компенсации искажений изображения, обусловленных атмосферной неустойчивостью; система оптической связи, объединяющая оба телескопа, позволила добиться уровня углового разрешения, которое бы имел одиночный телескоп с 85-метровым зеркалом.

Очень Большой Телескоп (*Very Large Telescope, VLT*). Был построен в 1998–2000 годах. Хотя этот астрономический комплекс находится на горе Серро-Параналь (высота 2635 м) в Чили, но находится он под управлением Европейской Южной Обсерватории. VLT состоит из четырёх 8,2-метровых оптических телескопов, расположенных в отдельных терморегулируемых зданиях, которые могут вращаться вместе с телескопами (рис. 60, *a*, *б*). Такая конструкция минимизирует завихрения воздуха в трубе телескопа, которые могут возникнуть за счёт перепада температур. Дополнительно телескопы могут перемещаться по вертикали и горизонтали.

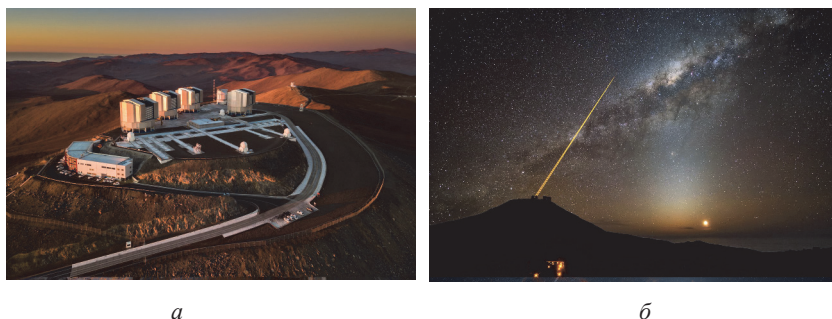


Рис. 60

- a* – Общий вид астрономического комплекса VLT,
б – Млечный Путь в небе над VLT

Зеркало каждого телескопа представляет собой монолитную конструкцию из стеклокерамики толщиной 177 мм и массой 22 тонны. Зеркало опирается на 150 активных опор (каждая из опор может автоматически удлиняться и укорачиваться), что позволяет поддерживать требуемый идеальный профиль зеркала. В дальнейшем были построены ещё четыре 1,8-метровых вспомогательных телескопа, объединённых с основными телескопами в единую оптическую систему. В результате, достигается угловое разрешение, эквивалентное телескопу с 130-метровым зеркалом. При астрономических наблюдениях используются четыре лазерных искусственных «звезды». Всё это делает *VLT* одной из самых совершенных наземных оптических систем.

Большой Канарский телескоп (*The Gran Telescopio CANARIAS, GTC*). Построен в 2007 году и расположен на высоте около 2400 метров выше уровня моря на Канарском острове Пальма, Испания (рис. 61). Шестиугольное зеркало телескопа с эквивалентным диаметром 10,4 м составлено из 36 шестиугольных сегментов. Чувствительность телескопа такова, что с его помощью регистрируются астрономические объекты в миллиард раз более слабые, чем те, что доступны невооружённому глазу человека.

В ближайшие годы астрономы получат в свое распоряжение ещё более грандиозные телескопы:

– В двух десятках километров от *VLT* сооружается **Чрезвычайно большой телескоп**, основное зеркало которого диаметром 39,3 м будет состоять из 798 шестиугольных сегментов диаметром 1,4 метра и толщиной 50 мм. Зеркало телескопа будет собирать свет с площади до 978 м² – в сто миллионов раз большей, чем у невооружённого глаза. После окончания строительства телескопа (оно запланировано на 2025 год) астрономы будут иметь возможность изучать состав атмосферы далёких внесолнечных планет.

– В пустыне Атакама (Чили) ведётся строительство **Гигантского Магелланова телескопа**: семь зеркал диаметром 8,4 м и весом 20 тонн каждое.

– Неподалёку от знаменитой обсерватории Кека строится **Тридцатиметровый телескоп**. Его зеркало будет состоять из 492 шестиугольных сегментов по 1,4 метра общей площадью 664 м².



Рис. 61

Литература

1. Тербиж, В. Ю. Современные оптические телескопы / В. Ю. Тербиж. – М. : Физматлит, 2007. – 79 с.
2. Андрияшечкин, С. М. Физика. 11 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций (базовый уровень) С. М. Андрияшечкин. – М. : Баласс, 2013. – 336 с. – С. 154–155.

ГЛАЗ И СОЛНЦЕ

Важнейшим органом чувств человека, как известно, является зрение, то есть получение человеком информации об окружающем мире путём преобразования энергии светового излучения в зрительной системе «глаз – мозг человека». По разным оценкам от 80 до 90 % информации человек получает именно благодаря зрению.

Напомним некоторые характеристики глаза:

- оптическая сила глаза за счёт деформации хрусталика глаза глазными мышцами и происходящего при этом изменения кривизны преломляющих поверхностей хрусталика изменяется от 58,6 до 70,6 дп;

- хрусталик глаза (природная двояковыпуклая линза) состоит из слоёв различной плотности, показатель преломления наружного слоя хрусталика 1,405, внутренняя часть хрусталика имеет показатель преломления 1,454;

- зрачок глаза в зависимости от яркости света может рефлекторно сужаться и расширяться так, что диаметр зрачка меняется от 2 до 8 мм.

Пройдя через сложную оптическую систему глаза, свет в итоге достигает светочувствительной части глаза – сетчатки. Сетчатка состоит из нескольких слоёв нервных клеток различного типа и назначения. В последнем слое находятся светочувствительные клетки, их называют палочки и колбочки. Такое название светочувствительные клетки получили за свою форму (цилиндрическую у палочек и конусоподобную у колбочек). Длина палочки около 0,06–0,08 мм, колбочки – около 0,035 мм. Число светочувствительных клеток-палочек в глазу достигает 130 миллионов, колбочек – 7 миллионов. В палочках и колбочках попадающий на них свет вызывает раздражения, превращающиеся в электрические импульсы. Эти импульсы по волокнам зрительного нерва передаются в кору головного мозга, и в результате создаётся зрительное впечатление. Палочки обладают существенно большей светочувствительностью, чем колбочки. В вечернее время суток и в сумерках при малом количестве световой энергии, попадающем на сетчатку «работают» только палочки в «чёрно-белом варианте», без восприятия цветов. Цвет способны «различать» только колбочки, причём часть из них реагирует преимущественно на красный свет, часть – на зелёный свет и часть – на сине-голубой. Благодаря такому сложному строению сетчатки глаз способен реагировать на световые потоки, различающиеся по мощности в 10^{12} (миллион миллионов!) раз.

Изучая строение глаза и особенности человеческого зрения, учёные обнаруживают удивительную степень приспособления человеческого зрения к солнечному излучению, которое на протяжении длительного пути развития че-

ловечества было единственным источником света. Недаром известный физик академик Сергей Иванович Вавилов (1891–1951) эпиграфом к своей научно-популярной книге «Глаз и солнце» взял стихотворные строки немецкого писателя, мыслителя, философа, естествоиспытателя и государственного деятеля Иоганна Вольфганга Гёте (1749–1832):

*Будь не солнечен наш глаз,
Кто бы солнцем любовался?¹*

Глаз реагирует на световое излучение, поступающее от Солнца и достигающее земной поверхности. Для различных длин волн количество поступающей к земной поверхности световой энергии различно или, как говорят физики, есть определённое распределение энергии в спектре солнечного света.

Это распределение резко меняется в зависимости от положения Солнца на небесном своде – ведь при разной высоте Солнца над горизонтом солнечным лучам приходится проходить различные по толщине слои атмосферы, которая различным образом поглощает и рассеивает свет с различной длиной волны. Так в атмосфере сильнее всего рассеиваются те световые волны, частота которых больше (то есть фиолетовая, синяя часть спектра). Именно этим объясняется синий цвет неба. Глаза же земного наблюдателя достигает оставшийся свет, то есть преимущественно красные, оранжевые, жёлтые лучи. Поэтому-то Солнце, находящееся в зените, и воспринимается как жёлтое. При восходе и закате Солнца прямой солнечный свет, проходя через большую толщину атмосферного воздуха рассеивается ещё в большей степени. По этой причине при восходе и закате Солнце красное.

Для глаза, очевидно, важно усреднённое распределение энергии – средняя годовичная кривая распределения энергии полуденного Солнца (рис. 62).

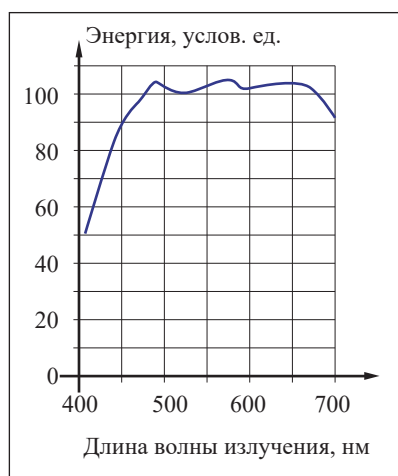


Рис. 62

Какой вывод вытекает из распределения, приведённого на рисунке 62? Энергия «среднего» Солнца в диапазоне длин волн 450–650 нм распределена достаточно равномерно, но она резко уменьшается в сторону более коротких и более длинных волн.

¹ Перевод В. А. Жуковского.

Сравним теперь график, приведённый на рисунке 62, с чувствительностью глаза к излучениям различных длин волн (рис. 63).

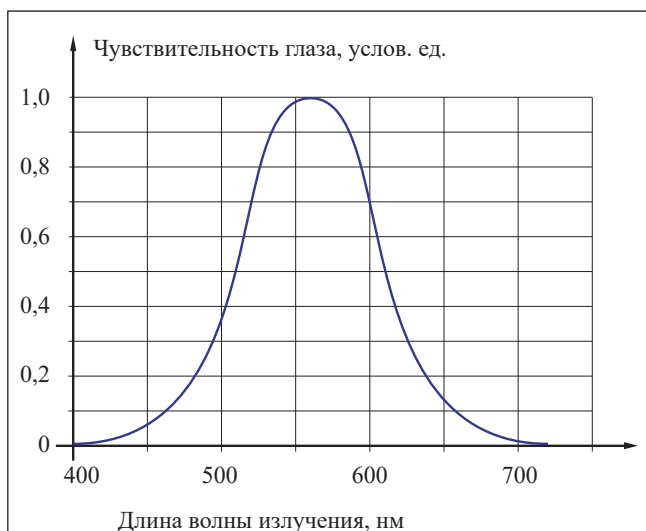


Рис. 63

На рисунке 63 приведён график чувствительности среднего нормального глаза при дневном зрении (этот график называют «кривая видности»). Чувствительность глаза максимальна в жёлто-зеленой части спектра при длине волны 555 нм.

Как видно из сравнения рисунков 62 и 63, глаз человека чувствителен именно к тем длинам волн, на которые приходится большая часть световой энергии «среднего» Солнца. Иначе говоря, кривая чувствительности (рис. 63) расположена в наиболее энергетически выгодной части кривой распределения среднего солнечного излучения (рис. 62).

При этом возникает закономерный вопрос: «Почему не наблюдается равномерная чувствительность во всём диапазоне 400–700 нм?» Сергей Иванович Вавилов объясняет это следующим образом. Во-первых, показатель преломления для света с различной длиной волны неодинаков (явление дисперсии света). Значит, фокусное расстояние оптической системы глаза будет разным для разных длин волн и на сетчатке глаза не может быть чёткого изображения для всех длин волн. Но если глаз наиболее чувствителен в узкой жёлто-зелёной части спектра, то это повышает отчётливость изображения на сетчатке. Во-вторых, у поверхностей разных тел неодинаковая отражательная способность для разных длин волн. И так как глаз имеет разную чувствительность к различным длинам волн, то это помогает различать тела. «Биологически существенна не абсолютная чувствительность глаза, а умение возможно лучше отличать освещённые предметы один от другого. ... При этом чрезвычайно важно, что *резкость контраста* яркости окраски разных тел окружающего чрезвычайно увеличивается оттого, что кривая видности не пологая, а имеет *резкий максимум* и круто падает в обе стороны спектра. Именно поэтому предметы окружающего мира резко отделяются для глаза один от другого».

Объяснима и биологическая нецелесообразность расширения диапазона зрения как в сторону длинноволнового излучения (инфракрасный диапазон), так и в сторону коротковолнового излучения (ультрафиолетовый диапазон). Всякий нагретый предмет, в том числе и тело человека, является источником электромагнитного излучения. При этом, чем выше температура нагретого предмета, тем более короткие волны им излучаются. При той температуре, что имеет тело человека, всё излучение приходится на диапазон инфракрасного излучения. По этой причине внутренние стенки глаза светятся инфракрасным светом. И если бы сетчатка глаза реагировала бы на инфракрасное излучение, то человек был бы практически слеп – он бы не воспринимал ничего кроме мощного инфракрасного излучения внутренней поверхности глаза. Отсутствует у человека и ультрафиолетовое зрение (хотя сетчатка глаза человека и высокочувствительна к ультрафиолетовому излучению). Во-первых, коротковолновое ультрафиолетовое излучение задерживается слоем озона в атмосфере так, что излучение с длиной менее 290 нм практически не достигает поверхности Земли. Во-вторых, ультрафиолетовое излучение разрушает органические вещества, и оно оказывало бы пагубное воздействие на сетчатку глаза. По этой причине перед сетчаткой глаза имеется ультрафиолетовый «светофильтр», роль которого выполняет хрусталик глаза, задерживающий большую часть ультрафиолетового излучения и ограничивающий возможность зрения со стороны коротковолнового излучения.



1. Какое можно предложить физическое толкование английской поговорки «Ночью все кошки серы»?

Литература

1. Вавилов, С. И. Глаз и солнце. О свете, Солнце и зрении / С. И. Вавилов. – 10-е изд. – М. : Наука, 1981. – 128 с.
2. Андрюшечкин, С. М. Физика. 11 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций (базовый уровень) / С. М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2013. – 336 с. – С. 119–120.

ЭЛЕКТРОННО-КВАНТОВЫЙ БИЛЬЯРД

На рубеже XIX–XX веков физика столкнулась с существенными затруднениями. Созданные к тому времени научные теории объясняли широкий круг механических, молекулярных, электромагнитных явлений и процессов. Но при этом физики были не в состоянии, например, объяснить установленные на опыте закономерности излучения световой энергии нагретым телом.

Для выхода из возникших затруднений выдающийся физик-теоретик Макс Планк (1858–1947) выдвинул гипотезу, совершенно чуждую прежней физике, где энергия считалась делимой на сколь угодно малые части. Макс Планк предположил, что энергия света (электромагнитного излучения) излучается определёнными порциями (квантами), «размер» которых пропорционален частоте излучения:

$$E = h\nu,$$

где E – энергия кванта,
 ν – частота излучения,

h – постоянная величина, названная постоянной Планка, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Опираясь на гипотезу Макса Планка, великий физик-теоретик Альберт Эйнштейн (1879–1955) смог объяснить все, до того времени загадочные, особенности явления внешнего фотоэффекта.

Внешний фотоэффект – это вырывание электронов из вещества светом, падающим на вещество. Если, например, металлическая пластина M будет включена в электрическую цепь, как показано на рисунке 64, то при освещении пластины светом благодаря явлению внешнего фотоэффекта возникнет электрический ток, который будет зарегистрирован гальванометром G (рис. 65).

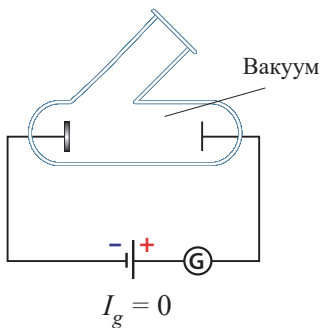


Рис. 64

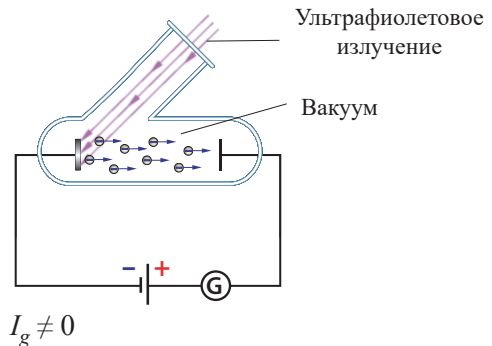


Рис. 65

Изучение фотоэффекта известным физиком-экспериментатором Александром Григорьевичем Столетовым (1839–1896) показало, что электроны вырывает из металлической пластины только высокочастотное ультрафиолетовое излучение. До Эйнштейна никому не удавалось объяснить этот экспериментально установленный факт.

По квантовой теории Эйнштейна свет, излучённый атомами вещества, не только в момент излучения, но и в дальнейшем, при распространении света в пространстве и при поглощении света металлом представляет поток частиц – квантов. Достигнув металла, отдельный квант света взаимодействует с электроном в металле. Если энергии кванта достаточно, то электрон преодолевает притяжение кристаллической решётки и вылетает из металла. Такие квантовые представления о характере поглощения света совершенно понятно объясняли, почему фотоэффект происходит только под действием ультрафиолетового излучения – ведь по формуле Планка, чем выше частота излучения, тем больше энергия кванта. И в случае ультрафиолетового излучения энергии кванта достаточно, чтобы вызвать фотоэффект.

Итак, физики, объясняя законы теплового излучения и внешнего фотоэффекта, пришли к выводу, что свет (электромагнитное излучение) представляет собой поток квантов – частиц, энергия и импульс которых определяется частотой излучения.

Конечно, подобные представления о свете (электромагнитном излучении) совершенно непривычны и совершенно необычны. Однако в 1922 году американским физиком Артуром Комптоном (1892–1962) было получено ещё одно убедительнейшее доказательство квантовой природы электромагнитного излучения. Комптон изучал явление взаимодействия электромагнитного излучения рентгеновского диапазона с электронами вещества. Схема его опыта изображена на рисунке 66.

Рентгеновская трубка PT являлась источником рентгеновского излучения частотой ν_0 . С помощью свинцовых диафрагм D формировался узкий пучок излучения, падающего на мишень M (в качестве мишени использовался графит, парафин и другие вещества). Излучение, попавшее на вещество мишени, распространяется далее по различным направлениям – рассеивается. Частота рассеянного излучения ν , распространяющегося под некоторым углом α к первоначальному направлению, определялась специальным детектором – спектрографом рентгеновского излучения Cn .

С точки зрения волновой теории электромагнитного излучения результат такого эксперимента предсказуем: электроны вещества под действием электрического поля электромагнитного излучения должны совершать вынужденные колебания с частотой, равной частоте пада-

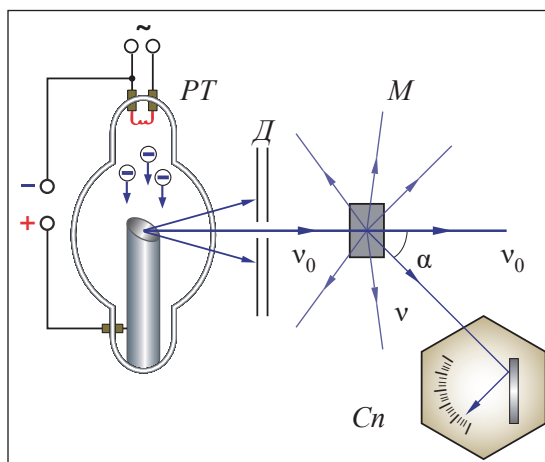


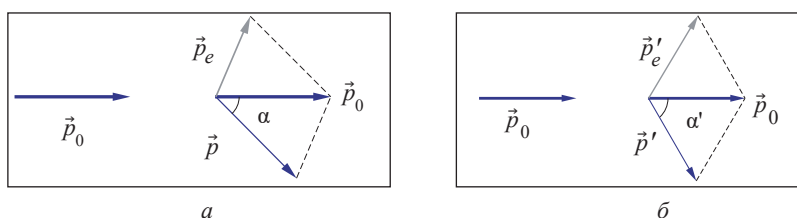
Рис. 66

ющего излучения, и, в итоге, являться источниками рассеянного излучения с частотой, равной частоте падающего излучения.

Результаты же опытов Комптона были совершенно иными: частота рассеянного излучения была меньше частоты падающего света и при этом частота рассеянного излучения ещё и зависела от угла α к первоначальному направлению, под которым распространялось рассеянное излучение.

Этот эффект оказалось возможным объяснить только исходя из квантовой теории. Представим, что электромагнитное рентгеновское излучение – поток частиц-квантов с определённым импульсом и энергией. При попадании кванта на мишень происходит его упругое взаимодействие с электроном вещества мишени. Квант передаёт часть импульса и энергии электрону, и при этом очевидно импульс и энергия рассеянного кванта будут отличаться от энергии и импульса первоначального кванта. (Обоснуйте данное утверждение исходя из законов сохранения импульса и энергии.)

На рисунке 67, *а*, *б* показаны схемы рассеяния кванта на различные углы α и α' .



\vec{p}_0 – импульс кванта излучения, падающего на мишень, частотой ν_0 ,
 \vec{p} – импульс кванта излучения, рассеянного под углом α ,
 \vec{p}_e – импульс электрона в случае рассеяния излучения под углом α ,
 \vec{p}' – импульс кванта излучения, рассеянного под углом α' ,
 \vec{p}'_e – импульс электрона в случае рассеяния излучения под углом α' .

Рис. 67

При рассеянии излучения под разными углами электрон приобретает различный импульс и различную кинетическую энергию. По этой причине энергия квантов излучения, рассеянных под различными углами, будет неодинакова, а значит, будет неодинакова и частота рассеянного излучения. Именно этот эффект и был экспериментально обнаружен Комптоном.

В 1927 году Артур Комптон был удостоен Нобелевской премии по физике «за открытие эффекта, названного его именем», а физика получила убедительное экспериментальное подтверждение квантового характера электромагнитного излучения.

Литература

1. Андриюшечкин, С.М. Физика. 11 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень / С.М. Андриюшечкин. – М. : Баласс, 2013. – 336 с. – С. 201–205.
2. Энциклопедия для детей. Том 16. Физика. Ч. 2. электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц / Гл. ред. В.А. Володин, метод. ред. А. Элиович. – М. : Аванта+, 2003. – 432 с. – С. 219.

ФИЗИКИ ДОПИСЫВАЮТ ИСТОРИЮ

Изучая исторические события, обстоятельства жизни выдающихся представителей минувших эпох, произведения материальной культуры, учёные-историки, археологи всё чаще привлекают к совместной работе физиков, инженеров и техников. Такое сотрудничество представителей различных наук, использование физико-технических методов при рассмотрении исторических вопросов позволяет получить новые знания, установить новые факты, которые иным путём получить было бы невозможно.

Одним из таких современных методов является так называемый метод нейтронно-активационного анализа, который позволяет определять присутствие химических элементов в исследуемом образце и концентрацию элементов. В ходе исследования образец бомбардируют потоком частиц-нейтронов. Нейтроны, проникают в ядра атомов химических элементов и в результате образуются радиоактивные изотопы. Эти искусственно полученные радиоактивные изотопы в дальнейшем распадаются с испусканием частиц и гамма-излучения. Процессы радиоактивного распада для всех химических элементов хорошо изучены, измерены периоды полураспадов радиоактивных изотопов, вид излучения и энергия излучения, даваемого каждым изотопом. Таким образом, учёные-физики, зарегистрировав излучение радиоактивных изотопов, получают, образно говоря, «визитные карточки» всех химических элементов, имеющих в облучённом потоком нейтронов образце.

Так, например, была установлена причина тяжёлой болезни Ньютона. В 1692 году Ньютон в возрасте пятидесяти лет тяжело заболел. Болезнь длилась более года, подорвала физические и духовные силы великого учёного. В дальнейшем болезнь прошла, «чёрный год» миновал, и Ньютон прожил ещё более тридцати трёх лет; но ни он сам, ни в дальнейшем исследователи его жизни и научного творчества не определили причину заболевания.

Уже в восьмидесятых годах XX века было выдвинуто предположение, что болезнь Ньютона была обусловлена отравлением ртутью при проведении им химических опытов. Как указывает П. А. Ваганов, автор книги «Физики дописывают историю» «Ртуть и её минералы играли в опытах Ньютона ведущую роль. Из записей в рабочих тетрадях следовало, что нередко учёный работал с большими количествами ртутных соединений, подолгу нагревая их, чтобы получить летучие вещества. Разумеется, никаких вытяжных шкафов в то время не существовало, и вредные пары и газы наполняли лабораторию». Чтобы проверить это предположение, сохранившуюся прядь волос Ньютона подвергли нейтронно-активационному анализу. Каждый из волосков был об-

лучён интенсивным потоком нейтронов, что привело к возникновению радиоактивных изотопов. Анализ возникшего радиоактивного излучения позволил установить, что средняя концентрация ртути в волосах Ньютона превосходила норму в 15 раз, что подтвердило предположение о том, что болезнь великого учёного была обусловлена сильным ртутным отравлением.

Интересным примером применения нейтронно-активационного анализа является исследования древнеримских монет (рис. 68). Английскими физиками в семидесятых годах прошлого века была исследована значительная коллекция (около 700 экземпляров) серебряных монет, время чеканки которых было достаточно точно известно и охватывало три столетия древнего Рима – от 27 года до н. э. (начало правления императора Октавиана Августа) до 275 года н. э. (правление императора Аврелиана).



Серебряная монета с портретом Октавиана Августа, отчеканенная в честь победы над Египтом, ок. 29 – 27 годов до н. э.



Серебряная монета с изображением императора Аврелиана, 270–275 год н. э.

Рис. 68

Было решено измерить содержание серебра в древнеримских монетах. Для проверки правильности выбранного метода измерения первоначально определили содержания серебра в шестипенсовых английских монетах чеканки 1872–1873 годов (время правления королевы Виктории) и 1921–1925 годов (время правления короля Георга V). В этих монетах концентрация серебра известна (92,5 и 50 % соответственно), и нейтронно-активационный анализ выявил именно такой процент содержания серебра.

Что же показало проведённое исследование? Оказалось, что содержание серебра в изученных древнеримских монетах изменялось в широких пределах от 3 до 70 %. Но самым интересным фактом было обнаружение уменьшения содержания серебра в монетах более поздних дат чеканки (рис. 69).

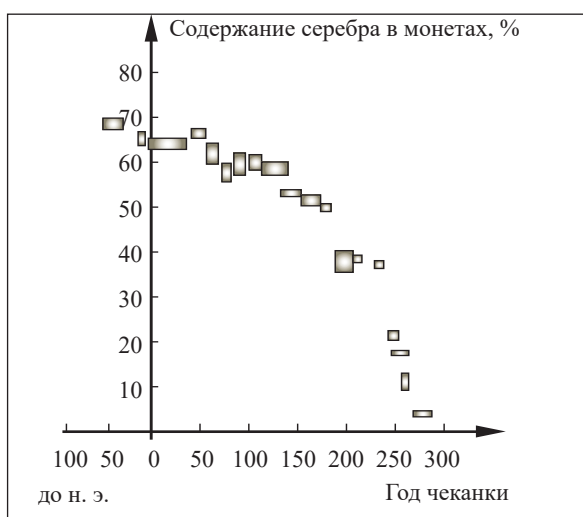


Рис. 69. Зависимость измеренного нейтронно-активационным методом среднего содержания серебра в древнеримских монетах от даты их чеканки

Длительное время содержание серебра в монетах достаточно велико, но после 180 года оно резко уменьшается. Это точно соответствует началу упадка Римской империи, росту экономических трудностей и расширению масштаба разорительных войн. Новое сокращение содержания серебра в монетах характерно для времени после 220 года, когда в истории древнего Рима наступает период внутренних распрей и военной анархии, это была пора, когда легионы воевали друг с другом, чтобы выдвинуть императором своего ставленника; так однажды в течение восьми лет сменилось двенадцать императоров. В итоге к 275 году содержание серебра в монетах уменьшилось до 3 %!

В 1972 году на Международной конференции по применению нейтронно-активационного анализа в криминалистике голландские исследователи сообщили о «разоблачении» древнеримских фальшивомонетчиков. Ими были изучено большое количество серебряных монет (около 2000 экземпляров) из голландской королевской коллекции. Все монеты относились к I веку до н. э., масса и размеры монет были одни и те же (масса – 0,8 г, диаметр – 11 мм, толщина – 2 мм). Оказалось, что каждая пятнадцатая монета содержала подозрительно малое количество серебра – менее 10 % (это при том, что большинство монет содержало более 90 % серебра). Результаты анализа позволили установить: значительная доля коллекционных монет, считавшихся серебряными, на самом деле лишь с поверхности покрыты слоем серебра, причём многие фальшивые монеты изготовлены ещё в древности.

Историки любят повторять фразу, что «История не знает сослагательного наклонения», то есть историю нельзя «переписать», изменить ход уже произошедших в прошлом событий. Но, как мы видим, используя современные физико-технические методы исследований, «Историю можно дописать», уточнить, как и при каких обстоятельствах произошли те или иные исторические события, удалить «белые пятна» из жизнеописания известных исторических личностей.



При облучении серебра нейтронами образуется два радиоактивных «короткоживущих» (с небольшим периодом полураспада) изотопа серебра и один радиоактивный изотоп серебра с периодом полураспада 250 суток. Излучение именно этого изотопа ^{110}Ag и регистрировалось при изучении древнеримских монет. Оцените, через сколько месяцев интенсивность радиоактивного излучения, испускаемого облучённой монетой, уменьшится в 4 раза?

Литература

1. Андрюшечкин, С.М. Физика. 11 кл. : учеб. для общеобразоват. организаций (базовый уровень) / С.М. Андрюшечкин. – М. : Баласс, 2013. – 336 с. – С. 221.
2. Ваганов, П. А. Физики дописывают историю / под ред. Я. А. Шер. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 216 с. – С. 170–195, 196–208.
3. Ваганов П. А., Лукницкий В. А. Нейтроны и криминалистика. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 192 с. – С. 102–116.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Вращательное движение	4
Первый закон Ньютона	7
Современные исследования Солнечной системы	10
Что такое трибология	14
Пространственно-временная симметрия и законы сохранения	17
Реактивное движение в живой природе	21
Как возникает подъёмная сила крыла самолёта	26
Ультразвук. Инфразвук	32
Эффект Доплера	35
Сейсмические волны	38
Электромагнитные волны: гениальное предвидение, теоретическое обоснование, экспериментальное открытие, практическое применение ..	42
Как работает микроволновая печь	49
Радиоастрономия – новый взгляд на мир	53
Физика радуги	58
Наземные оптические телескопы	62
Глаз и солнце	68
Электронно-квантовый бильярд	72
Физики дописывают историю	75

О ФИЗИКЕ И ФИЗИКАХ

книга для дополнительного чтения

9 класс

Составитель

Андрюшечкин Сергей Михайлович

Компьютерная вёрстка – О. Я. Евдокимова

Подписано в печать 08.06.2020

Формат 84×108 1/16

Бумага офсетная

Тираж 500 экз. Заказ № 024

Издательство «Амфора»
644042, Омск, пр. К. Маркса, 34а
Тел./факс: (3812)957-177
e-mail: amfora2002@inbox.ru